

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Smart senzory a jejich využití v automatizaci
Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. René Neděla

Autor práce: Bc. Martin Hrudka

PRAHA 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Reného Neděly a použil jsem jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

V Praze dne

Abstrakt

Úkolem diplomové práce je shrnout senzorku a přiblížit problematiku inteligentních senzorů. Práce popisuje Smart senzory, jejich parametry a použití v automatizaci. Další část práce se zabývá technologiemi, které se používají při výrobě senzorů. Je zde popsána technologie MEMS, která je ve výrobě senzoru velmi používána. Hlavní náplní práce je vytvoření programu, který se zabývá komunikací mezi Smart senzorem a počítačem. K vytvoření programu je použito prostředí LabVIEW. Pro ověření funkčnosti programu jsou vytvořeny dva modely Smart senzorů. V práci je popsán standard IEEE 1451, který se zabývá standardizací Smart senzorů. Standard IEEE 1451 udává budoucí směr vývoje Smart senzorů. Použití Smart senzorů je velmi široké, zejména díky technologii MEMS.

Klíčová slova

senzory, smart senzory, LabView, měřicí řetězec

Summary

The task of this master's thesis is summarize science of sensors and describes issues of Smart sensors. The thesis describes Smart sensors, their parameters and using in the automation. Another part is focus on the technology, which is using in production sensors. In thesis is approach technology MEMS, which is very important. The main subject is program for communication between the computer and sensors. To create a program is used environment LabVIEW. The function is verify because of two models Smart sensors. The thesis describes standard IEEE 1451. The IEEE 1451 is apply for standardization Smart sensors and towards to futuring development Smart sensors. The MEMS is most usefull technology for production sensors.

Key words

sensors, smart sensors, LabView, measure string

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce a metodika	2
3 Základní problematika	3
3.1 Senzor a měřící řetězec	3
3.2 Rozdělení senzorů.....	3
3.3 Parametry senzorů	4
3.4 Úprava signálu	7
3.5 Charakteristika Smart senzoru.....	9
3.6 Vnitřní struktura Smart senzoru.....	10
3.7 Princip funkce Smart senzoru.....	10
3.8 Technologie v sensorice	11
3.8.1 MEMS.....	11
3.8.2 CMOS	12
3.8.3 VLSI	12
4 Komunikační média.....	13
4.1 Používané standardy v praxi.....	16
4.1.1 RS-232C	16
4.1.2 RS-485	16
4.2 Přenos dat v praxi	17
4.2.1 ASI.....	17
4.2.2 HART	19
4.2.3 CAN.....	21
4.2.4 Profibus.....	23
4.2.5 J-1850	25
5 Implementace Smart senzoru v automatizaci	27
5.1 Využití technologie MEMS.....	27

5.2	Nejpoužívanější senzory založené na technologii MEMS	29
5.2.1	Akcelerometr	29
5.2.2	Gyroskop.....	33
6	Návrh měřícího obvodu	35
6.1	Teoretický návrh Smart senzoru	35
6.2	Návrh Smart senzoru pomocí mikroprocesoru Atmel	35
6.2.1	Blokové schéma Smart senzoru s mikroprocesorem Atmel	35
6.2.2	Princip činnosti Smart senzoru s mikroprocesorem	36
6.2.3	Popis návrhu Smart senzoru s mikroprocesorem.....	37
6.2.4	Návrh programu v LabVIEW	39
6.3	Návrh Smart senzoru pomocí přípravku Arduino	41
6.3.1	Blokové schéma Smart senzoru s použitím přípravku Arduino	41
6.3.2	Popis funkce Smart senzoru s využitím přípravku Arduino	42
6.3.3	Zapojení a sestavení kitu Arduino	43
6.3.4	Integrace do programu LabVIEW a návrh programu.....	44
7	Vývoj Smart senzorů v budoucnosti.....	47
7.1	IEEE 1451 [1].....	47
7.1.1	IEEE 1451.0.....	47
7.1.2	IEEE 1451.1	48
7.1.3	IEEE 1451.2.....	49
7.1.4	IEEE 1451.3.....	49
7.1.5	IEEE 1451.4.....	49
7.1.6	IEEE 1451.5.....	50
7.1.7	IEEE 1451.6.....	51
7.1.8	IEEE 1451.7.....	51
7.2	Specializace Smart senzorů	52
8	Závěr.....	53

9 Seznam literatury	54
10 Seznam použitých obrázků, tabulek a rovnic	57
11 Seznam zkratk	59
12 Přílohy.....	I

1 Úvod

Hlavním podnětem k výběru tohoto tématu je uplatnění nových technologií v sensorice. Sensory už nejsou jednoduchá zařízení, která pouze snímají měřenou veličinu. Spojení elektrotechnických a mechanických technologií vytváří zcela nová zařízení. Tyto zařízení se nazývají Smart senzory nebo také inteligentní senzory. Smart senzory obsahují mnoho dalších jednotek, které rozvíjejí jejich vlastnosti. Integrace jednotlivých prvků zkracuje měřicí řetězec a vytváří převážně decentralizovaný systém. Hlavní podíl na rozvoji inteligentních senzorů je aplikace technologie MEMS do průmyslu. Díky technologii MEMS je možná aplikace miniaturních mechanických systémů do sensoriky.

Úkolem této práce je shrnout sensoriku, se zaměřením na inteligentní senzory. Důležitým úkolem je navrhnout program, který vytvoří komunikaci mezi počítačem a Smart senzorem. Pro vytvoření programu je využito prostředí LabVIEW. K ověření funkčnosti programu je použit jednoduchý přípravek, který se svým blokovým schématem blíží Smart senzoru. Závěrečný úkol se týká implementace inteligentních senzorů do automatizace a jejich budoucího vývoje.

2 Cíl práce a metodika

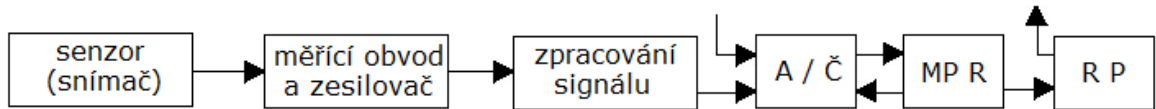
Počátečním cílem práce je shrnout problematiku senzoru se zaměřením na Smart senzory. Po přiblížení sensoriky je dalším cílem implementace Smart sensorů v automatizace a jejich budoucí vývoj. Hlavním cílem je vytvořit software pro komunikaci mezi počítačem a inteligentním senzorem. Nedílnou součástí návrhu je vytvoření modelu Smart senzoru. Výsledkem jsou dva funkční modely.

Metodika práce je založená na analýze dokumentu a samostatném návrhu Smart senzoru.

3 Základní problematika

3.1 Senzor a měřicí řetězec

Senzor je tvořen prvky, které dohromady vytvářejí měřicí řetězec.



Obr. 1 Měřicí řetězec senzoru [5]

Na Obr. 1 je znázorněn měřicí řetězec. Měřicí řetězec se skládá ze snímače, měřicího obvodu se zesilovačem, obvodů pro zpracování signálu, analogově číslicového převodníku, mikropočítače a vyššího nadřazeného systému. Prvek, který snímá měřenou veličinu, nebo snímá pomocnou veličinu, se nazývá čidlo. Tato veličina může být chemická, fyzikální nebo biologická. Měřicí obvody slouží ke zjištění měřené veličiny, mohou to být např. různé měřicí můstky. Obvody pro zpracování signálu jsou nejčastěji usměrňovače nebo filtry. Analogově číslicový převodník zpracovává analogový signál na data, která jsou srozumitelná pro mikropočítač. Tento krok je spíše pro uživatele, aby mohl s daty lépe pracovat. Posledním členem je vyšší výpočetní systém, a tím je na mysli spojení s počítačem. K tomu se váže ukládání měřených dat a jejich další zpracování.

3.2 Rozdělení senzorů

Rozdělení senzorů je problematické, protože každá literatura nebo odborná publikace uvádí něco jiného. Sensory se dělí podle jednotlivých kritérií, které jsou:

a) Podle fyzikálního principu:

- Senzory teploty
- Odporové
- Kapacitní
- Indukční
- Magnetické
- Optické
- Chemické
- Speciální

b) Podle styku s prostředím:

- Dotykové
- Bezdotykové

- c) Podle měřené veličiny:
 - Chemická
 - Fyzikální
 - Biologická
- d) Podle výstupu
 - Analogový
 - Číslcový
 - Dvoustavový
- e) Podle technologie (Ripka, 2011)
 - Elektromechanické
 - Mechanické
 - Pneumatické
 - Elektrické
 - Elektronické
 - Elektrochemické
 - Polovodičové
 - Mikroelektromechanické
 - Optoelektronické
- f) Podle uspořádání
 - Centralizovaný systém
 - Decentralizovaný systém

Rozdělení je mnoho, avšak toto obsahuje nejdůležitější skupiny senzorů. V neposlední řadě je možné senzory rozdělit na aktivní a pasivní. Pasivní senzor potřebuje externí napájení. Aktivní senzor se při působení měřené veličiny chová jako zdroj energie.

3.3 Parametry senzorů

Parametry senzorů jsou hlavním kritériem při volbě a implementaci senzoru v měřícím řetězci. Nejdůležitější parametry uvádí (Husák, 2008):

- Přesnost
- Rozlišovací schopnost
- Citlivost
- Selektivita
- Práh citlivosti
- Práh měření

- Linearita
- Zkreslení
- Hystereze
- Reprodukovatelnost
- Rozsah měření
- Šum
- Výstupní impedance
- Uzemnění
- Izolace
- Nestabilita a drift
- A další

Parametry můžeme rozdělit na statické, dynamické a parametry prostředí. Do statických parametrů patří přesnost. Přesnost označovaná rovněž jako relativní chyba senzoru je dána vztahem:

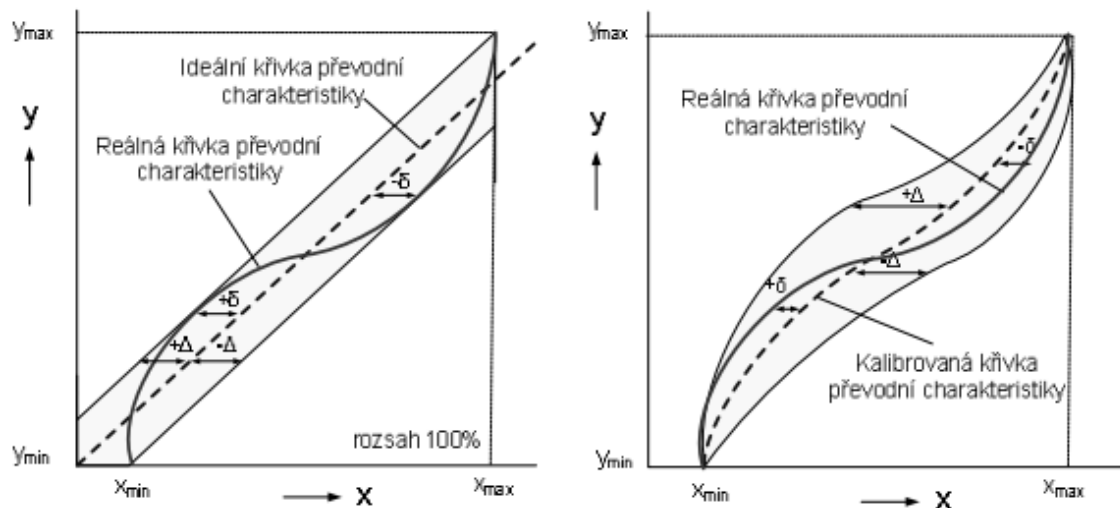
$$\varepsilon_a = 100 \cdot \frac{X_m - X_t}{X_t} [\%] \quad [3.1]$$

Kde:

X_m – měřená veličina

X_t – skutečná veličina

Na Obr. 2 je graficky znázorněna přesnost.



Obr. 2 Převodní charakteristika senzoru [32]

Rozlišovací schopnost je statický parametr, který je dan rovnicí:

$$R_{\max} = 100 \cdot \frac{\Delta X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} [\%] \quad [3.2]$$

Kde:

X_{\min} – minimální hodnota

X_{\max} – maximální hodnota

Citlivost je parametr statický, který se často nazývá mrtvé pásmo. V mrtvém pásmu senzor není schopný měřit. Reálným příkladem je lopatkový průtokoměr. Při velmi malém průtoku nedochází k pohybu lopatek a senzor nic neměří. Citlivost je dána vztahem:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad [3.3]$$

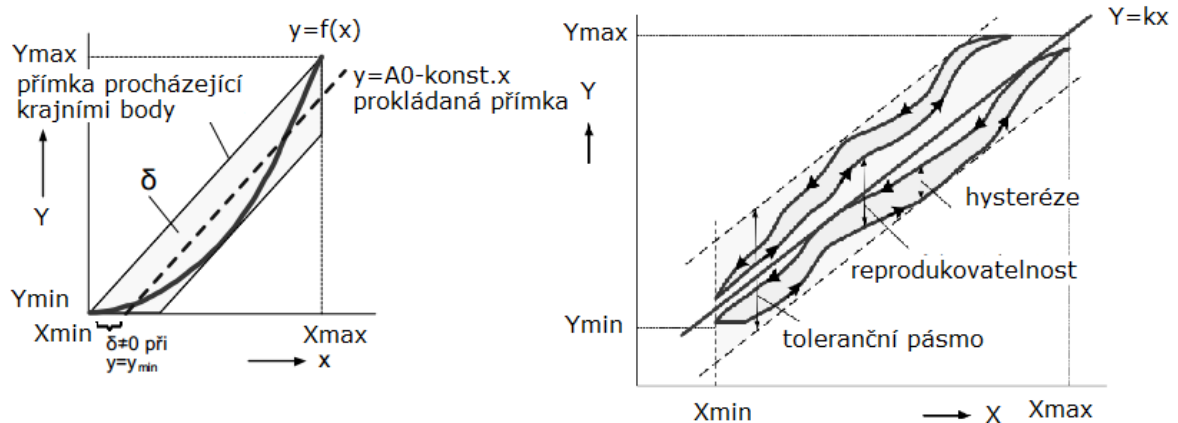
Kde: Δy – výstupní veličina
 Δx – vstupní veličina

Další statický parametr je selektivita. Selektivita je určena vztahem:

$$S_{\alpha} = \frac{\Delta y}{\Delta x_{\alpha}} \quad [3.4]$$

Kde: Δy – výstupní veličina
 Δx_{α} – působící fyzikální veličina

Mezi další statické parametry patří linearita, hystereze a reprodukovatelnost. Na Obr. 3 se v levé části nachází nelinearita senzoru a v pravé části je znázorněna hystereze a reprodukovatelnost.



Obr. 3 Linearita, hystereze a reprodukovatelnost senzoru [32]

Práh citlivosti a práh měření jsou parametry, které spolu úzce souvisejí. Práh citlivosti je hodnota, kdy senzor pomocí čidla je schopný zaznamenat měřenou veličinu, ovšem s nevyhovující přesností. Práh měření je hodnota, od které je garantovaná určitá přesnost senzoru, a od které se senzor používá. Zkreslení je parametr, který se nejčastěji týká vnitřního zpracování signálu. Jde o různé úbytky napětí, teplotní ztráty atd. Šum je parametr, který je v reálném provozu vždy potřeba zkontrolovat. Elektrotechnické výrobky musí vyhovovat normě EMC (Electromagnetic Compatibility Society), která zabezpečuje odolnost vůči rušení. Pokud je výrobek označen EMC, znamená to také, že takové rušení sám nevytváří. Šum vzniká např. při zapínání a vypínání elektrotechnických motorů. Pro impedanci senzoru platí, že vstupní impedance je větší než výstupní. Teplotní drift a nestabilita, se váže k teplotnímu rozsahu senzoru. Teplotní rozsah je interval, ve kterém

výrobce garantuje, že senzor bude pracovat s požadovanou přesností. Teplotní drift může posouvat počátek měření nebo i celý měřicí rozsah.

V neposlední řadě jsou důležité dynamické parametry senzorů. Mezi tyto parametry patří:

- Časová konstanta
- Doba odezvy
- Dopravní zpoždění
- Dynamická chyba

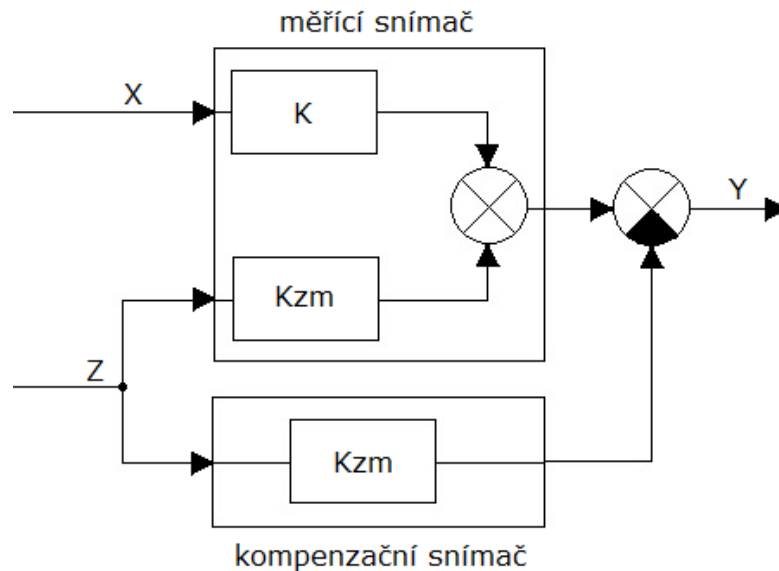
Existuje mnoho dalších parametrů např. uzemnění, izolace, vstupní a výstupní impedance a jiné. Parametry, které jsou důležité, se liší od typu a použití senzoru. V neposlední řadě záleží na výrobcí, které parametry uvádí.

3.4 Úprava signálu

Pro minimalizaci všech rušivých jevů se zavádí různé korekce signálu. Mezi základní metody patří:

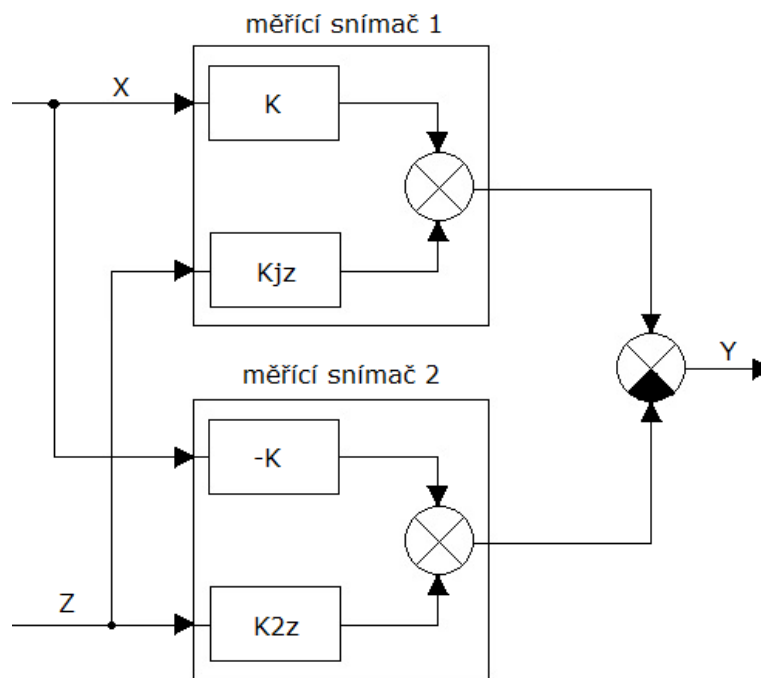
- Zavedení kompenzačního snímače
- Využití diferenčního snímače
- Využití zpětnovazebního převodníku
- Filtrace poruchového signálu
- Amplitudová modulace
- Posuv měřicího spektra
- Speciální (autokalibrace, linearizace)

Metoda kompenzačního snímače pracuje s předpokladem, že pokud se od sebe odečte signál měřicího a kompenzačního snímače, tak jejich přenosové konstanty se budou rovnat. Blokové schéma je zobrazeno na Obr. 4.



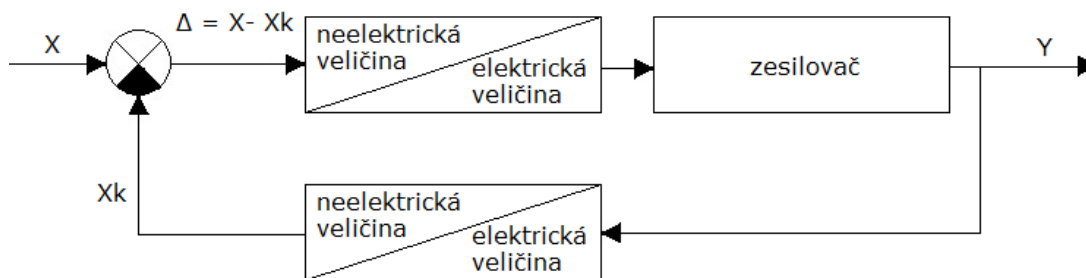
Obr. 4 Zapojení kompenzačního snímače [3]

Další možností je využití diferenčního snímače. Princip této metody spočívá ve využití dvou snímačů, které mají opačné znaménko u měřenosné veličiny. Poruchové signály mají znaménka totožná a to znamená, že pokud jsou přenosové konstanty snímačů shodné, tyto poruchové signály se eliminují. Zapojení diferenčního snímače je zobrazeno na Obr. 5.



Obr. 5 Zapojení diferenční snímač [3]

Kompensace pomocí zpětnovazebního převodníku kompenzuje neelektrickou veličinu. Často se tento způsob využívá při měření tlaku. Zapojení této kompenzace znázorňuje Obr. 6.

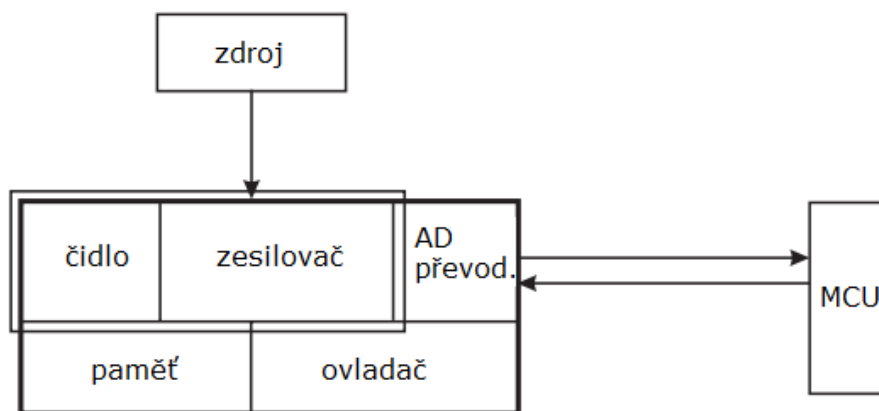


Obr. 6 Zapojení zpětnovazební kompenzace [3]

3.5 Charakteristika Smart senzoru

Smart senzor, někdy nazývaný inteligentní senzor je zařízení, které má integrované další jednotky pro zpracování signálu. Inteligentní senzor je součástí decentralizovaného systému. Pro Smart senzor je charakteristická (Ripka, 2011):

- Obousměrná komunikace
- Číslicová část
- Diagnostika
- Autokalibrace
- Korekce chyb
- Číslicový, analogový nebo kombinovaný výstup



Obr. 7 Blokové schéma Smart senzoru [1]

Na Obr. 7 jsou znázorněny jednotlivé části Smart senzoru, mezi které patří zdroj, čidlo, analogově číslicový převodník, paměť, jednotka úpravy signálu, řadič a řídicí jednotka mikro počítače. V jednoduchosti lze říci, že Smart senzor obsahuje čtyři jednotky. Každý Smart senzor obsahuje jednotku snímání, procesní, vysílací a zdrojovou. Z jednotlivých názvů vyplývají funkce jednotek. Snímací jednotka obsahuje čidlo, které snímá měřenou nebo pomocnou veličinu. Procesní jednotka se zabývá kompenzací a dalším zpracováním signálu. Při zpracování může být měřená veličina vypočítána z pomocné veličiny nebo se provádějí unifikace signálu. Vysílací, rovněž také přijímací,

jednotka přebírá zpracovaná data od procesní jednotky a posílá je nadřazenému systému. Další její funkce je přijímat příkazy a podle nich konfigurovat Smart senzor. Poslední jednotka je zdrojová. Tato jednotka zajišťuje elektrickou energii, která je potřeba k provozu senzoru.

3.6 Vnitřní struktura Smart senzoru

V dnešní době již lze za Smart senzor považovat dobře vybavený mikroprocesor. Požadovaný mikroprocesor musí být vybaven analogově číslicovým převodníkem a rozhraním USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter). Rozhraní USART je složeno ze dvou vývodů, kde jeden slouží k přijímání a druhý k odesílání dat. Tyto vývody jsou značeny RX a TX. Pokud bude rozhraní nakonfigurováno na synchronní přenos lze komunikovat v poloduplexním režimu. Při asynchronním přenosu se komunikuje v duplexním režimu. Poloduplexní režim znamená, že lze pouze data přijímat nebo odesílat. V duplexním režimu jsou data zároveň odesílána i přijímána. Toto rozhraní je možno připojit pomocí převodníků na rozhraní RS-232 nebo RS-485, a tím se zvyšuje možnost komunikace s dalšími prvky. Většina mikroprocesorů disponuje registry pro příchozí a odchozí data, registry pro kontrolu vysílání a přijímání dat a v neposlední řadě registry sloužící pro povolení přerušení od jednotky USART. Dalším důležitým prvkem je analogově číslicový převodník. Mezi nejdůležitější parametry převodníku patří čas, rozlišení a přesnost převodu. V dnešní době mají standartní převodníky rozlišení od 10 do 12 bitů. Tento údaj odpovídá tomu, jak je převodník citlivý. Např. pokud bude mikroprocesor měřit hodnotu 3V osmi a dvanácti bitovým převodníkem, tak data z druhého převodníku budou přesnější, protože na ten samý měřený rozsah je k dispozici větší počet jednotek převodníku. Stejně jako rozlišení je důležitý čas převodu. Pokud se jedná o aplikaci, kde je kladen větší důraz na rychlost než na přesnost převodu, pak je možné zmenšit rozlišení převodníku, a tím zkrátit čas. Aby bylo možné hovořit o tomto celku jako o Smart Senzoru, musí být k dispozici ještě paměť a jednotka zpracování signálu. Obě tyto jednotky jsou obsaženy v mikroprocesoru. Jednotkou zpracování signálu se rozumí provedení programu - firmwaru, který má mikroprocesor uložený v paměti.

3.7 Princip funkce Smart senzoru

Princip funkce Smart senzoru vyplývá z jeho struktury a z velké části se dá přirovnat k funkci mikroprocesoru. V dnešní době je většina Smart senzorů tvořena mikroprocesorem, čidlem, analogově číslicovým převodníkem, USART jednotkou

a digitálně analogovým převodníkem. Mikroprocesor vykonává program - firmware, který má uložený v paměti. Při tomto výkonu obsluhuje svoje vstupy a výstupy. Na jednotlivé vstupy jsou připojeny čidla, např. teplotní, nebo analogově číslicový převodník a další periférie, které mohou např. vyvolat přerušení v mikroprocesoru. Na výstup je připojený digitálně analogový převodník, který svoje hodnoty může předávat např. na sběrnici HART. Různé zobrazovací systémy jako LED (Light Emitting Diode) diody, displeje nebo segmentové displeje jsou rovněž připojeny na výstupy mikroprocesoru. V jednoduchosti lze říci, že mikroprocesor načte vstupní hodnoty, podle programu je upraví a pošle je na výstup. V praxi se po dokončení převodu, z analogově číslicového převodníku, hodnoty upraví nebo převedou, do požadovaného tvaru, a podle programu se posílají na výstup. Na výstupu je jednotka USART nebo digitálně analogový převodník, který data předává jinému zařízení nebo sběrnici. Tento cyklus výkonu programu pro mikroprocesor platí jen v případě Smart Senzoru.

3.8 Technologie v senzorce

Smart senzory se nyní sestavují z jednotlivých komponent, protože je trendem využívat technologie, kde se na jednom čipu integruje několik jednotek. Mezi tyto technologie patří MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) a VLSI (Very Large Scale Integration). Každá technologie má jiný původ. Technologie MEMS byla dokonce vyvíjena bez konkrétního komerčního využití.

3.8.1 MEMS

Jak již ze zkratky názvu vyplývá, jedná se o spojení elektronických prvků s mechanickými, ve velmi malých rozměrech. Rozměry těchto prvků se pohybují okolo 0,001 – 1 mm. Prvním člověkem, který vytvořil MEMS zařízení byl americký vědec Harvey C. Nathanson, roku 1968 na toto zařízení získal patent [12].

Zařízení typu MEMS je složeno z elektronického obvodu a mechanického prvku. Mechanický prvek je tvořen převody nebo páky a elektronický prvek je tvořen nejčastěji procesorem nebo jednodušší řídicí jednotkou. K materiálům, které se používají při výrobě, patří křemík, kov, keramika a polymer. Křemík je používán na výrobu elektronických součástí pro svoji příznivou cenu a součástky dosahují vysoké kvality.

Součástky MEMS se vyrábí leptáním, obráběním, vytvářením podle šablon nebo metodou usazování. Usazování se dělí na chemické a vypařování. Princip výroby za pomoci šablon vychází z litografie. Leptání se dělí na mokré, izotropické, anizotropické,

elektrochemické a leptání pomocí kyseliny fluorovodíkové. Další možností je mikro obrábění [9].

Při vývoji technologie MEMS nebylo přesně definované komerční využití. Po zdokonalení technologie, zmenšení výrobků a důmyslnější propojení s elektronickými prvky, si technologie našla uplatnění v mobilních přístrojích a v navigačních systémech. Další uplatnění MEMS technologie je především v senzorech, 3D tiskárnách, gyroskopech, bio medicíně, akcelerometrech, zobrazovací technice a v inkoustových tiskárnách.

3.8.2 CMOS

Technologie CMOS se používá při výrobě mikroprocesorů, pamětí, zobrazovacích prvků a dalších zařízení. Z názvu je patrné, že se jedná o výrobu polovodičů, kde řídicí elektroda je na izolantu oxidu polovodiče. Tato technologie je charakteristická vysokým logickým ziskem, menší rychlostí, vysokou šumovou imunitou, malým příkonem ve statickém režimu a náchylností k elektrostatickému výboji. Součástky zhotovené touto technologií pracují v teplotním rozmezí -50 °C až 125 °C. V technologii CMOS se používají tranzistory MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), které jsou charakteristické vysokým vstupním odporem a to až $10^{17} \Omega$. Jedná se tedy o unipolární technologii, ve které je možné vytvořit větší hustotu součástek na čipu za použití jednodušších výrobních postupů. Největší nevýhodou oproti obvodům TTL (Transistor Transistor Logic) je podstatně nižší rychlost [10].

3.8.3 VLSI

VLSI je metoda výroby, která určuje míru integrace prvku na jednom čipu. Tento druh výroby je nástupcem SSC (Small Scale integration) a MSC (Medium Scale integration). Tato technologie, která se používá od 80 let, vznikla na podnět potřeby velkého počtu tranzistorů, více než 1000, integrovaných na jednom čipu. Mezi další podněty vzniku této technologie patří faktory jako obvodové zpoždění, energetická náročnost a složitost návrhu. Pokud se vyrobí výrobky, které by splňovaly nynější nároky zákazníků, technologiemi SSC a MSC, hrozilo by zpoždění signálu a velká energetická náročnost. Technologie VLSI se dnes používá pro menší mikroprocesory, s malou pamětí a menším počtem výstupu. Velký počet firem pracuje s touto technologií např. Motorola, Texas Instruments, Analog Devices, Intel, Philips, Cisco, National Semiconductors a mnoho dalších. Existuje již mnoho standardizovaných jazyků a nástrojů pro využívání technologie VLSI [11].

4 Komunikační média

Před samotným rozbořením komunikace Smart senzorů je potřeba definovat několik pojmů. Mezi tyto pojmy patří rozhraní, sběrnice a přenosový protokol. Rozhraní, anglicky nazýváno interface, je formát, který zajišťuje správnou komunikaci a přenos dat mezi zařízeními. Rozhraní může být hardwarové nebo softwarové. Hardwarové rozhraní je např. počítačová síť nebo sběrnice. Mezi softwarová rozhraní řadíme komunikační protokoly a uživatelská rozhraní. Komunikační protokol je standard podle, kterého probíhá komunikace. Důležitým standardem, který se zabývá komunikací, je referenční model OSI. Model OSI (Open System Interconnection) je složen ze sedmi vrstev a to fyzické, linkové, síťové, transportní, relační, prezentační a aplikační. Model OSI je znázorněn na Obr. 8.

Vrstvy	Data
7. Aplikační vrstva	Data
6. Prezenční vrstva	Data
5. Relační vrstva	Data
4. Transportní vrstva	Segmenty
3. Síťová vrstva	Pakety
2. Linková vrstva	Rámce
1. Fyzická vrstva	Bity

Obr. 8 Referenční model OSI

Do fyzické vrstvy jsou řazeny síťové rozbočovače, které provádějí operace na bitové úrovni. Linková vrstva zvyšuje spolehlivost přenosu mezi dvěma uzly, a tím podporuje fyzickou vrstvu. Síťová vrstva zná topologii sítě a zabezpečuje přenos dat, který linková vrstva neumí. To znamená, že pokud v cestě mezi dvěma uzly je další uzel, přenos zprostředkovává síťová vrstva. Transportní vrstva zajišťuje přenášení paketů mezi libovolnými uzly sítě. Paket je skupina dat, které se přenášejí po síti. Relační vrstva synchronizuje přenos a řadí pakety. Mimo jiné zodpovídá za bezpečnost přenosu a za udržení spojení. Prezenční vrstva, jak z názvu vyplývá, prezentuje přenášené informace a jejich obsah kóduje nebo dekóduje podle směru toku dat. Aplikační vrstva zodpovídá za přístup aplikacím k síti [3].

Topologie sítě je důležitý aspekt, který je potřeba při návrhu komunikace zohlednit.

Rozdělení topologie:

- Hvězda
- Kruh
- Strom
- Sběrníková
- Mesh
- Přímá
- Spojení každý s každým

V průmyslové výrobě se často využívá sběrníková topologii pro její jednoduchost a rychlost. Pokud ve sběrníkové topologii nefunguje sběrnice, stává se celá síť nefunkční. Z názvů jednotlivých typů topologií vyplývá jejich zapojení, až na topologii Mesh. Tento typ topologii připomíná spojení každého prvku s každým až na výjimky, kdy některé prvky jsou spojeny pouze do kruhu.

Definice standardu je na různé úrovni. Některé standardy, např. CAN (Controller Area Network), definují vlastní přenosový protokol i fyzickou vrstvu. Jiné standardy, např. Profibus, definují přenosový protokol a jako fyzickou vrstvu využívá standard RS-485. Smart senzory jsou součástí decentralizovaného systému. V decentralizovaném systému musejí být jednotlivé prvky vybaveny rozhraním, pomocí kterého komunikují. Inteligentní senzory jsou vybaveny rozhraním, které se využívá převážně v průmyslu nebo výjimečně jednoúčelovým rozhraním. Přehled nejpoužívanější protokolů uvádí (Frank, 2000) v Tab. 1.

Tab. 1 Používané protokoly u Smart senzorů [1]

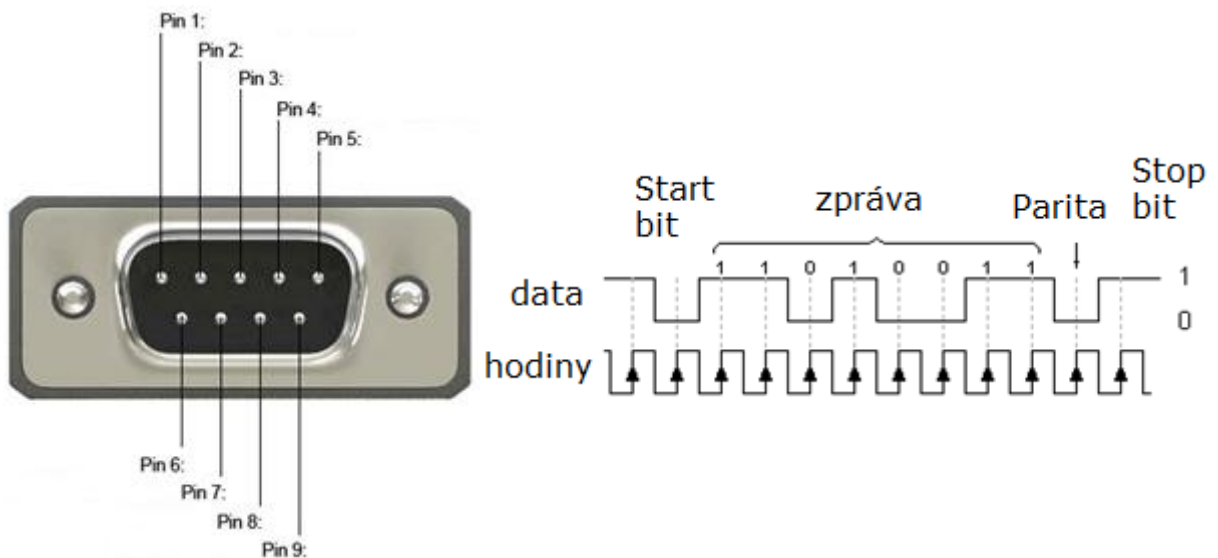
Protokoly	
Automobilový průmysl	výrobce
J-1850	Society of Automotive Engineers (SAE)
J-1939 (CAN)	SAE
J1567 C ² D	SAE (Chrysler)
J2058 CSC	(Chrysler)
J2106 Token Slot	SAE (GM)
CAN	Robert Bosch GmbH
VAN	ISO
A-Bus	Volkswagen AG
D ² B	Philips
MI-Bus	Motorola
TTP	University of Wien, Austria
Pro všeobecné průmyslové využití	výrobce
HART	Rosemount and HART Communication Foundation
DeviceNET TM	Allen-Bradley
Smart Distributed Systems (SMS TM)	Honeywell
SP50 fieldbus	ISP + World FIP = Fieldbus Foundation
SP50	IEC/ISA
LonTalk TM	Echelon Corp.
Profibus	German DIN
ASI bis	ASI Association
InterBus-S	Phoenix Contact and InterBus-S Club
Seriplex	Automated Process Control and Seriplex Technology Organization
SERCOS	SERCOS N.A.
IPCA	-
ARCNet	Datapoint Corp. And ARCNet Trade Association
Automatizace budov	výrobce
BACnet	Building Automation Industry
LonTalk TM	Echelon Corp.
IBibus	Intelligent Building Institute
Batibus	Merlin Gerin (France)

Jednotlivé protokoly vznikaly na podněty z průmyslové výroby. Protokol CAN vznikl pro částečné sjednocení automobilového průmyslu hlavně v Evropě. Oproti tomu protokol J-1850 vznikl ve Spojených státech amerických pro sjednocení tamějšího automobilového průmyslu. V tabulce jsou uvedeny i protokoly, které jsou standardizovány, avšak díky některým svým nedostatkům jsou používané zřídka. Za nedostatek lze považovat i příliš velká specializace na konkrétní řešení.

4.1 Používané standardy v praxi

4.1.1 RS-232C

Standard RS-232C vychází z americké normy EIA RS-232C. Vznik se datuje k roku 1969. Tento standard je určen jako komunikační rozhraní mezi elektronikou a počítačem. Při porovnání s referenčním modelem OSI se standard RS-232C zabývá pouze fyzickou vrstvou. To je hlavní důvod proč standard RS-232C v současnosti nahrazuje výkonnější USB (Universal Serial Bus). V počítači je nejčastěji linka RS-232C realizovaná konektorem D-Sub. Tento konektor má devět pinů a jeho znázornění je na Obr. 9.



Obr. 9 Konektor D-Sub [14]

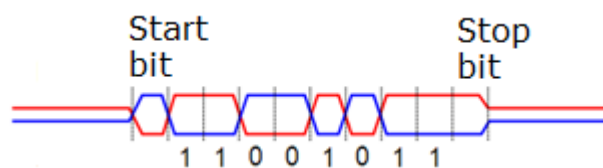
Obr. 10 Přenášený byte ve standardu RS-232C [15]

Na Obr. 10 je zakreslený průběh zprávy, přenášené standardem RS-232C. Přenášená zpráva je složena ze start bitu, osmi bitů pro přenášenou informaci, parity bitu a stop bitu. Jedná se o sériovou komunikaci. Přenos informací je reprezentován hodnotami napětí ± 5 V, ± 10 V, ± 12 V nebo ± 15 V. Mezi základní piny konektoru patří TXD, RXD a GND. TXD slouží pro vysílání dat, RXD data přijímá a GND je společná zem. Ostatní piny jsou pro pomocné řídicí signály nebo k dalšímu použití. Posílat zprávy lze až na vzdálenost 20 m. Charakteristická rychlost standardu RS-232C je 9600 bd, ale lze dosáhnout i rychlosti 115200 bd.

4.1.2 RS-485

V roce 1983 byl standard RS-485 definován normou EIA RS-485. Jde o sériovou dvou vodičovou komunikaci. V některých případech se data přenášejí po vedení, které je složeno ze čtyř vodičů. Komunikace je poloduplexní do vzdálenosti 1200 m a ke sběrnici

může být připojeno až 32 zařízení. Maximální rychlost přenosu je 10 Mb/s, ale pouze na vzdálenost 10 m. Logické úrovně jsou definované pomocí rozdílu dvou napětí. Pokud je rozdíl větší jak 200 mV jedná se o logickou nulu a pokud je rozdíl menší než -200 mV jde o logickou jedničku. Tři vodiče se používají tehdy, když je realizovaná komunikace na větší vzdálenost. Hlavním důvodem je rozdílný potenciál v místě odeslání a příjmu dat. To je důvod, proč se standard RS-485 někdy implementuje ve tří nebo čtyř vodičovém provedení. Čtyřvodičové provedení je charakteristické duplexním přenosem. Jedná se dva páry dvouvodičové linky.



Obr. 11 Přenos zprávy ve standardu RS-485 [16]

Na Obr. 11 je znázorněný přenos zprávy. Používá se sedmi nebo osmi bitový rámeček se start bite, paritním bitem a stop bitem.

4.2 Přenos dat v praxi

4.2.1 ASI

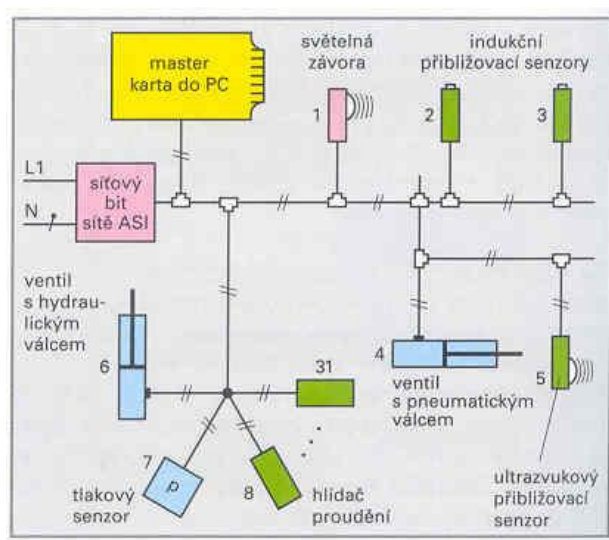
ASI (Actuator Sensor Interface) je sběrnice, která je určená pro jednoduchý sběr dat od senzorů a akčních prvků. Mezi jednoduché členy patří základní senzory nebo optické závory a mnoho dalších. ASI sběrnice je znázorněná na Obr. 12. Z historického hlediska počátky ASI sběrnice sahají do osmdesátých let dvacátého století, avšak svoje uplatnění našla až v letech devadesátých. ASI sběrnice pracuje se senzory, PLC (Programmable Logic Controller) automaty, akčními prvky a průmyslovými počítači. Maximální délka sběrnice je 100 m a může být k ní připojeno 31 účastníků. Při použití opakovačů je možné délku ASI sběrnice prodloužit a zvýšit počet účastníků. Charakteristickým parametrem je napájení 24 V a to přímo ze sběrnice. V současnosti se používá verze sběrnice ASI 3.0. První verze 2.04, připravena pro komerční využití, byla uvedena roku 1994. Následovala verze 2.11 roku 1998 a roku 2007 verze 3.0 [2].

Sběrnice ASI se skládá ze čtyř základních prvků:

- Gatewaye, někdy nazývané Master
- Zdroje s opakovačem
- Modulů, často nazývané Slaves
- Síťových kabelů

Master obsluhuje sběrnici a řídí přenos dat. Střídavě vyzývá účastníky, aby zaslaly svoje data. Interval mezi účastníky je závislý na jejich počtu. Neměl by však přesáhnout 5 ms. Tato metoda se nazývá Polling. Výzva, kterou master vysílá, se skládá se 14 bitů. Přenos se synchronizuje pomocí Start-bitu a Stop-bitu. Zpráva, kterou Master vysílá, obsahuje data, parametry, příkazy nebo adresu. Účastníci, zvaní Slaves, posílají zpět 4 bitovou zprávu, kde je informace např. o senzoru. Master, mimo jiné, může účastníka nastavit do výchozího režimu pomocí příkazu reset nebo mu může změnit adresu. V dnešní době se vyrábějí moduly Master, které provádějí inicializační průzkum sítě, a podle toho se sami nastaví. Ve většině případu je modul Master realizován počítačovou kartou nebo PLC automatem. V těchto případech se může využít přeposílání zpráv do nadřazeného systému.

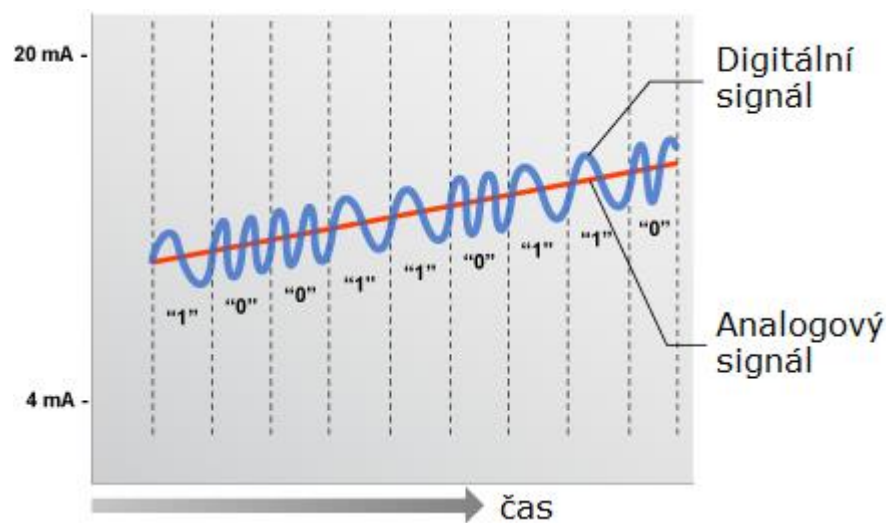
Jednotlivé prvky, které disponují ASI sběrnici, mají integrované aktory a senzory do jednoho celku. Aktor je prvek, který umožňuje delegování dat. Pokud je potřeba ke sběrnici připojit jiné prvky, je nutné použít účastnické moduly. Sběrnice ASI je charakteristická svým konektorem, který se nazývá Vampir kontakt. Tento konektor je složen z patice a čtyř ostrých pinů. Kontakt je typický svojí oranžovou barvou. Sběrnice se na konektor napojí pomocí ostrých pinů, to znamená, že není potřeba sběrnici přerušit (Häberle, 2003).



Obr. 12 ASI sběrnice [2]

4.2.2 HART

HART (Highway Addressable Remote Transducer) je průmyslovým standardem, který pracuje na principu proudové smyčky. Tento standard vznikl v osmdesátých letech minulého století. Do komerčního využití se HART dostal v roce 1993. Na standard HART se vztahuje bezplatná licence, což velmi pomohlo k jeho rychlému rozšíření. Díky tomu roste vysokou rychlostí počet zařízení, která jsou tímto standardem vybavena. Pro přenos dat se používá dvou vodičová proudová smyčka, kde se hodnota proudu pohybuje v intervalu 4 – 20 mA. Smyčka analogově přenáší hodnoty proudu a standard HART definuje na tomto vedení číslicový přenos. Realizace komunikace standardu HART je znázorněná na Obr. 13.



Obr. 13 Princip přenosu pomocí rozhraní HART [13]

Pro přenos logické nuly a jedničky jsou využívána dva kmitočtové úseky. Pro logickou nulu je kmitočtový úsek 2200 Hz a pro logickou jedničku 1200 Hz. Pokud senzor používá číslicovou komunikaci, tak je schopný poslat více informací v kratším čase. Znamená to, že může zasílat změřená data a data z vlastní diagnostiky. Tento fakt podporuje rozvoj Smart senzorů. Využití rozhraní HART je velmi oblíbené také z ekonomických důvodů. Při jeho zavádění není potřeba instalovat novou kabeláž a síťové prvky. Pokud by se instalace nezdařila nebo neodpovídala zadání, není problém se vrátit k analogovému přenosu.

Standard HART definuje pět vrstev z referenčního modelu OSI. Mezi tyto vrstvy patří:

- Fyzická
- Linková
- Síťová
- Transportní

- Aplikační

Fyzická vrstva je realizovaná proudovou smyčkou, kde logická nula a jednička mají definovaný svůj kmitočtový úsek. Linková vrstva funguje podobně, jako ve standardu OSI. Změna je v tom, že podřízené jednotky nevysílají, pokud nejsou tázány jednotkou Master. Druhou změnou je to, že v síti může být více jednotek Master. Jednotka Master provede inicializaci, a posléze vykoná synchronizace všech zařízení. Síťová vrstva zajišťuje bezpečnost přenosu a udržuje spojení. Transportní vrstva v tomto případě kontroluje, zda se data v pořádku odeslala nebo přišla. Aplikační vrstva zavádí speciální příkazy, ve kterých je možno definovat datový typ nebo generovat funkce. Příkazy tvoří následující skupiny:

- Univerzální příkazy
- Provozní příkazy
- Speciální příkazy pro konkrétní zařízení
- Příkazy, které jsou definované pro skupinu zařízení

Univerzální příkazy platí pro všechna zařízení. Provozní příkazy jsou pro některá zařízení a provádí se jimi různá nastavení jednotlivých členů. Provozními příkazy je možno provést kalibraci nebo inicializační test. Specifické příkazy mají už velmi úzké uplatnění, a to např. pro zařízení od jednoho výrobce nebo pro skupinu výrobku podobného typu. Mezi specifické příkazy se řadí např. nastavení čítače nebo nastavení PID (Proporcionálně Integračně Derivační) regulátoru. Příkazy pro definované skupiny zařízení, jsou pro nastavení funkcí a vnitřních nastavení zařízení a nejsou doprovázeny jinými pomocnými příkazy.

K protokolu HART byl vyvinut programovací jazyk DDL (Device Description Language). Pokud se v síti nachází druhý Master, příruční komunikátor, disponuje pouze univerzální sadou příkazů. Pro různá specifická nastavení se ruční komunikátor nedá použít. Z tohoto důvodu vznikl jazyk DDL, který vybavuje komunikátor procedurami. Tím je rozšířeno jeho programové vybavení a vše je uloženo v jeho paměti.

Programovací jazyk DDL je podporován všemi výrobci, kteří vybavují svoje zařízení protokolem HART. Mezi tyto výrobce patří Siemens, Saab, Honeywell, Allen Bradley a mnoho dalších.

Posílání zpráv od zařízení typu Master je realizováno napět'ovými signály. Zařízení typu Slave vysílají proudové signály. Převod na napět'ovou úroveň je jednoduchý, a proto přijímací obvody u obou zařízení pracují s napět'ovými úrovněmi. Tolerance napět'ových

úrovní je v rozmezí 120 mV až 2 V. Pro odstranění rušivých signálů se používá integrační členek neboli dolní propust.

Komunikace probíhá vysíláním dat od jednotky Master k jednotkám Slave, které bez vyzvání žádná data neposílají. Typická doba odezvy je 500 ms a to znamená, že zařízení Slave je osloveno nejméně dvakrát za sekundu. Pokud Slave neodpovídá, Master se snaží několikrát znovu navázat komunikaci. V případě, že zařízení neodpovídá, Master přeruší vysílání. Po každém úspěšně ukončeném přenosu Master chvíli vyčkává, aby se v případě potřeby mohl do vysílání zapojit druhý Master. Struktura vysílané zprávy je velmi obdobná jako u standardu RS-232C. Jde o asynchronní přenos, kde na začátku je start bit a na konci parita se stop bitem. Jedná se o zprávu, která je složena z osmi bitových bytů. Byty obsahují preambuli, startovní znak, adresu, příkazy, počet bytů, status, data a kontrolní součet. Celková délka vedení, po které mohou zprávy být posílány, je 3000 m.

Signály HART je možno přenášet pomocí telefonní sítě. Tento přenos je velmi praktický např. pro řízení vytápění. V Spojených státech amerických lze tuto možnost aplikovat ihned. V Evropě je potřeba signály transformovat na jiné standardy [13].

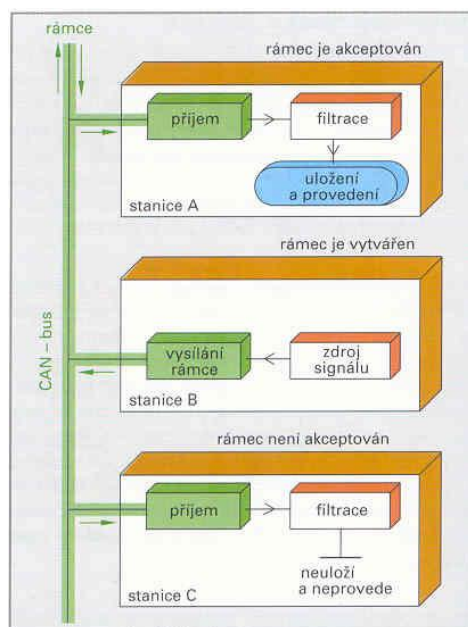
4.2.3 CAN

Standard CAN, někdy nazývaný CAN-bus, byl navržen pro automobilový průmysl. CAN byl vyvinut německou firmou Bosch v osmdesátých letech dvacátého století a v letech devadesátých se dostal do komerčního využití. Postupem času byl CAN převzat jako standard pro automobilový průmysl v Evropě. Označením standardu CAN podle norem je ISO 11898. Standard CAN byl vyvinut z důvodu potřeby najít způsob, jak rychle a s požadovanou přesností přenášet data od jednotlivých senzorů a akčních členů k řídicí jednotce automobilu. Komunikace je sériová s důrazem na vysokou rychlost. Rychlost sběrnice CAN může být až 1 Mb/s a to na vzdálenost 40m. Dalším důvodem proč tento standard vznikl je implementace normy OBD II (On Board Diagnostics). V Evropě se tato norma nazývá EOBD (European On Board Diagnostics). Norma EOBD se zabývá produkcí emisí. Automobil splňující normu EOBD je vybaven zařízením, pro monitorování všech součástí, které se podílí na produkci emisí. Tyto jevy jsou velice rychlé, mnoho z nich je skokových, a právě proto je kladen důraz na rychlost přenášených dat.

CAN je charakteristický svým návrhem linkové vrstvy a způsobem posílání zpráv. Fyzická vrstva není přesně definovaná a může ji reprezentovat kroucená dvoulinka nebo optický kabel. V dnešní době existují dvě modifikace sběrnice CAN a to 2.0A a 2.0B. První varianta používá pro přenos 11 bitů a druhá 29 bitů. Topologie standardu CAN je

sběrnice. V reálném případě je automobil vybaven sběrnici a k ní jsou připojeny senzory, akční členy a řídicí jednotka. Tato topologie má větší spolehlivost a kratší kabelové vedení. Největší nevýhodou je to, že pokud nefunguje sběrnice, zůstane celý systém mimo provoz. Přenos dat je po sběrnici CAN velmi charakteristický. Data nemají adresu příjemce, protože se s nimi pracuje podle vnitřního identifikátoru. Jsou-li nějaká data poslána na sběrnici, přijmou je všechny jednotky, které na sběrnici mají přístup. Podle identifikátoru se jednotky rozhodnou, zda data uloží a budou s nimi pracovat dále. Kupříkladu pokud po sběrnici budou poslána data s teplotou chladicí kapaliny, tak si je uloží přístrojová deska, řídicí jednotka a jednotka ventilátoru chladiče. Pokud je sběrnice volná, může jakýkoliv účastník začít vysílat. Nastane-li situace, kdy začne vysílat více účastníků, začne se sběrnice uvolňovat podle priority. Priorita je určena podle jedenácti bitového identifikátoru. Právo začít vysílat získá ta jednotka, která má nejvíce nul v identifikátoru priority. Protokol rozlišuje dva stavy recesivní a dominantní, tato technika se nazývá metoda bitového arbitra. Princip posílání zpráv je patrný z Obr. 14.

Pokud je při realizaci použita kroucená dvoulinka, jeden vodič je označen CAN L a druhý CAN H. CAN L může nabývat hodnotu mezi 2,5 V a 3,5 V. Hodnota napětí vodiče CAN L se pohybuje mezi 1,5 V a 2,5 V. Logická nula je reprezentovaná hodnotou 2,5 V na obou vodičích. Pokud bude CAN H = 3,5 V a CAN L = 1,5 V jedná o logickou jedničku [2].



Obr. 14 Princip toku dat ve standardu CAN [2]

V aplikační vrstvě, podle modelu OSI, jsou nejčastěji nasazeny dvě technologie a to CANopen a DeviceNet. CANopen představuje aplikační vrstvu, která zabezpečuje kontrolu parametrů a přenos dat od různých zařízení. Mezi protokoly CANopen patří [17]:

- NMT (Network Management)
- SDO (Service Data Object)
- PDO (Process Data Object)
- SYNC (Synchronization Object)
- TIME (Time Stamp Object)
- EMCY (Emergency Object)

Protokol NMT slouží k inicializaci, reportu chyb a zjištění stavu zařízení. Druhý protokol SDO se používá pro komunikaci mezi serverem a vzdáleným zařízením. PDO protokol slouží k přenosu vlastních dat. Existují dva typy PDO protokolu, a to pro čtení a vysílání dat. Jak je z názvu patrné, čtvrtý protokol SYNC se zabývá synchronizací zařízení a prováděných úloh. Protokol TIME, reprezentuje přesný čas v milisekundách, který využívají vyšší aplikace. Poslední protokol EMCY vysílá výstražné zprávy, pokud se jedná o fatální chybu zařízení.

DeviceNet je síťový systém navržený ve Spojených státech amerických firmou Allen-Bradley. DeviceNet využívá standardu CAN a to ve druhé, síťové vrstvě. Největší využití nachází u PLC a průmyslových počítačů. Mezi charakteristické rysy patří napájení po sběrnici, variabilní rychlost a vysoká průchodnost sítě. Komunikace v síti je realizována metodou Master a Slave nebo PTP (Peer To Peer). Jedná se o otevřený systém, a proto se na vývoji podílí mnoho výrobců. DeviceNet je charakteristický rychlostí 500 kbit/s, podporou více Masterů, několika druhy zpráv pro zařízení typu Slave a maximálně 64 uzly.

4.2.4 Profibus

Profibus (Process Field Bus) vznikl koncem osmdesátých let minulého století v Německu. Ve stejném státě byl tento standard normalizován s označením DIN 19 245. S rostoucí decentralizací systému je potřeba jednotlivé prvky spolu propojit, aby byl zabezpečený požadovaný tok informací. Tento podnět se zasloužil na vývoji Profibusu, který definuje elektrické i mechanické vlastnosti sériové sběrnice v průmyslovém prostředí. Pro přenos informací, Profibus využívá standard RS-485. Mezi podporované topologie toho standardu patří hvězda, strom, kruh a sběrnice. Nejčastější implementovaná topologie je sběrnice. Profibus pracuje se senzory, regulátory, PLC automaty, Smart

senzory, ale také s vyšší řídicí vrstvou. Standard Profibus je charakteristický třemi různými technologiemi. Mezi tyto technologie patří Profibus FMS (Fieldbus Message Specification), Profibus DP (Decentral Periferie) a Profibus PA (Process Automation). Každá technologie má odlišný způsob použití a k tomu odlišné parametry.

Profibus FMS je určen pro komunikace s vyšší řídicí vrstvou. Vyšší řídicí vrstva je nejčastěji složena z číslicové techniky a zabývá se náročnějšími aplikacemi. Při použití opakovačů je možné dosáhnout délky sběrnice až 4,8 km. Bez opakovačů, sběrnice komunikuje do vzdálenosti 1,2 km. Nejvyšší běžná rychlost se pohybuje kolem hodnoty 500 kbit/s. Pokud jsou omezené nebo zakázané některé funkce, může se rychlost na kratší vzdálenost vyšplhat až na 12 Mb/s. Pro přenos se používá kroucená, stíněná dvoulinka. Při přenosu se pracuje se třemi typy rámců, a to s řídicím, datovým pevným a datovým proměnným. Řídicí rámec obsahuje označení flag, cílovou adresu, zdrojovou adresu, řídicí značku, cyklický kód a koncové označení flag [3].

Profibus DP patří k nejrozšířenější variantě. Nejčastěji komunikuje mezi PLC automaty a dalšími prvky, které jsou k nim připojeny. Pro komunikaci je opět použita kroucená dvoulinka. U této technologie se nejčastěji používá sběrnice nebo stromová topologie. Nejvyšší rychlost se blíží k 500 kb/s na vzdálenost 1,2 km bez opakovačů. Maximální počet účastníku je 32. Účastník může být aktivní nebo pasivní. Pasivní účastník nemůže sám od sebe vysílat, pouze naslouchá. Existuje výjimka, a to když pasivního účastníka, aktivní účastník požádá o nějaká data. Aktivní účastník může vysílat tehdy, když získá token. V české terminologii je token označován jako pešek. Token je mezi účastníky předáván cyklicky, podle definovaného algoritmu. Při předávání tokenu, je systém schopen rozeznat tyto chyby (Häberle, 2003):

- V oběhu je více tokenů
- V síti není žádný token
- Token není správně předáván
- Více stejných účastnických adres
- Vadný přijímač
- Připojení nebo odpojení účastníka

Síť může pracovat v jednom se tří módů (Häberle, 2003):

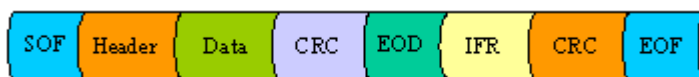
- Správa značky token
- Cyklické střídání požadavků na účastníky a vysílání účastníků
- Správa účastníků

Profibus PA je určen pro základní nenáročné aplikace. Používá se zde opět dvoudrátové vedení. Toto vedení zde ovšem slouží i k napájení. Rychlost této technologie se pohybuje okolo 30 kbit/s. Data získaná pomocí Profibusu PA se převádí na variantu DP pomocí převodníku. Dále se zpracovávají číslicovými systémy.

4.2.5 J-1850

Standard J-1850 byl navržený ve Spojených státech amerických pro realizaci normy OBD. Bylo potřeba navrhnout systém, který by shromažďoval data od jednotlivých senzorů a akčních prvků v automobilu. Cílem bylo zajistit kontrolu nad prvky, které se podílí na tvorbě emisí. Další požadavky se týkaly zkrácení kabeláže a centralizace systémů. Fyzická vrstva standardu J-1850 existuje ve dvou variantách. První varianta pracuje s pulzně šířkovou modulací PMW (Pulse Width Modulated) a druhá s variabilní délkou pulzu VPW (Variable Pulse Width). Varianta PWM využívá dva vodiče pro přenos signálu. Hodnoty signálu se určují s diferenčního napětí. Rychlost se pohybuje okolo 40 kbit/s na vzdálenost 40 m. Druhá varianta VPW pracuje jen s jedním vodičem. Rychlost nepřesáhne hodnotu 10 kbit/s na stejnou vzdálenost, 40 m. PWM modulaci využívá firma Chrysler a variantu VPW využívá např. firma Ford [18].

Linková vrstva je pro obě fyzické vrstvy totožná. Aplikační vrstva se zabývá využitím speciálních zpráv. Rámec zprávy je znázorněný na Obr. 15.



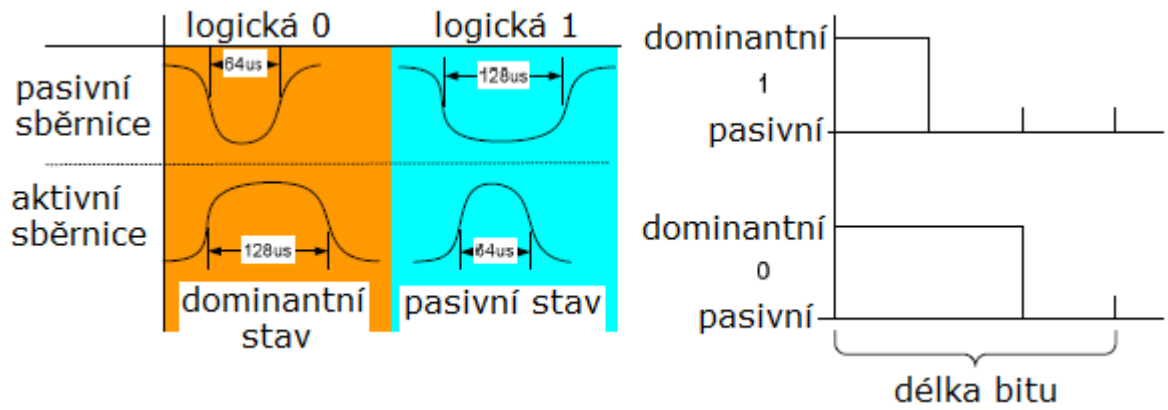
Obr. 15 Datový rámec J-1850 [18]

Rámec obsahuje:

- SOF (Start Of Frame) začátek rámce
- Header, identifikátor
- Data, přenášená informace
- CRC (Cyclical Redundancy Check), kontrola redundance
- EOD (End Of Data) datový konec
- IFR (In Frame Response), pomocná proměnná pro neznámé vysílání
- CRC (Cyclical Redundancy Check), kontrola redundance
- EOF (End Of Frame) konec rámce

Určení logických úrovní se odvíjí od využití jednotlivých fyzických vrstev. Při použití VPW je v aktivním režimu logická jednička reprezentována délkou pulzu 128 μ s a logická

nula délkou 64 μ s. Pokud bude VPW pracovat v pasivním režimu, tak délky pulzu platí pro logickou jedničku a nulu obráceně. Pro PWM modulaci platí, že v aktivním režimu se jedná o logickou jedničku, pokud se hodnota signálu nerovná nule. A v pasivním režimu toto platí obráceně. Repräsentace logických úrovní je znázorněna na Obr. 16.



Obr. 16 Repräsentace logických úrovní pomocí fyzické vrstvy VPW a PWM [19]

5 Implementace Smart senzoru v automatizaci

Uplatnění Smart senzorů v průmyslu je široké. V každém průmyslovém odvětví se Smart senzory nasazují. Automobilový průmysl je v současnosti považován za lídra v oboru inteligentních senzorů. Bezpečnost a vysoký stupeň výbavy automobilů podněcuje k nasazení inteligentních senzorů. Sběrnice CAN, vyvinutá pro automobilový průmysl, vyžaduje použití inteligentních senzorů. Již zmíněná technologie MEMS hraje hlavní roli ve vývoji a udávání současného trendu senzorů. Z počátku technologie bez konkrétního uplatnění si nyní nachází zákazníky, takřka v celém průmyslu. V posledních deseti letech se technologie MEMS rozšířila do mobilních zařízení pro koncové uživatele. Dnes většina mobilních telefonů obsahuje zařízení vyrobené pomocí technologie MEMS.

5.1 Využití technologie MEMS

V kapitole 3.8.1 byly shrnuty základní fakta o technologii MEMS. Pro tuto technologii je charakteristické spojení elektronických a mechanických součástí. Spojení tohoto typu by nebylo ojedinělé, ale technologie MEMS tuto vazbu vytváří v měřítku tisíců mm. Touto technologií je možné vyrobit (Frank, 2000):

- Mikro válce
- Mikro motory
- Mikro pumpy
- Mikro dynamometry
- Mikro chladicí kanály
- Mikro optická vlákna
- A další součásti

V současné době se MEMS prvky dají využít pro (Frank, 2000):

- Měření pomocí membrány a podobných mechanismů
- Měření akustických vln
- Měření tlaku
- Měření vibrací
- Měření zrychlení
- Měření náklonu
- Přepínače, relátka a mnoho dalšího

V budoucnosti se počítá s využitím mikro motorů, mikro pump, mikro dynamometrů, mikro chladících kanálů a mikro optických vláken u inteligentních senzorů.

Mikro motor slouží k přeměně energie, a to zejména ve chladicí soustavě. Tento prvek může zajišťovat oběh chladicí kapaliny nebo vzduchu. Většina mikro motorů je elektrostatického nebo elektromagnetického typu. Běžný průměr rotoru je okolo 0,1 mm. K motoru musí být připojena spojka nebo malá převodovka, protože počáteční točivý moment je malý. Maximální otáčky mikromotorů jsou 500 ot/min. Využití mikro motorů se zatím ubírá směrem k motorům krokovým. Při výrobě je nejdůležitější zachovat, co největší kvalitu jednotlivých komponent zařízení.

Mikro pumpy jsou zařízení, která u inteligentních senzorů zastávají podobnou funkci jako mikro motory. Jejich hlavní uplatnění je tedy v chladicí soustavě inteligentního senzoru. Mikro pumpa se skládá ze tří komor. Pomocí membrán se vytváří tlak mezi komorami. Výkon mikro pumpy je přibližně $7 \cdot 10^{-6}$ litru za minutu. Využití mikro pump se nyní testuje v medicíně. Existují prototypy mikro pump, které dodávají nemocným lidem inzulin.

Dalším zařízením, které si hledá uplatnění u Smart senzorů je mikro dynamometr. Mikro dynamometr se skládá z motoru, převodovky a generátoru. Jednotlivé prvky se vytvářejí pomocí metody SLIGA (Sacrificial LIGA). Metoda SLIGA vychází z metody LIGA (Lithographie Galvanoformung Abformung). Nyní se vyvíjejí převodovky pro mikro dynamometry. Cílem je vyvinout převodovku, která umožní manipulovat s předmětem o hmotnosti jedné libry. Převodovka bude pravděpodobně navržená s poměrem 12:1 [1].

Mikro chladicí kanály mají velkou perspektivu. Jejich uplatnění je možné ve všech elektronických zařízeních. Uspořádání chladících kanálu je paralelní. Chlazením jednotlivých elektronických součástek se zvyšuje jejich životnost a spolehlivost. Dostatečný odvod tepla zabezpečuje možné zvýšení výkonu zařízení. Patent, který chrání mikro chladicí kanály, byl zaregistrován ve Spojených státech amerických. Základní model mikro chladících kanálů je složen ze tří vrstev.

Posledním hojně rozvíjejícím se produktem jsou mikro optická vlákna. V současnosti se rozvíjí technologie MEMS pro výrobu čoček, optických vodičů, zrcadel, mřížek a mnoha dalších prvků. Po chemické stránce se pro vyzářování používá prvky argon, xenon a chlór. Hladinu těchto plynů snímá laser. Průměr laseru je 3 μm a spotřebovává proud 1,5 mA. V každém případě je tento produkt zatím ve stadiu vývoje a není možné ho aplikovat. V budoucnosti by mohl být velmi úspěšný pro komunikaci mezi jednotlivými čipy [1].

5.2 Nejpoužívanější senzory založené na technologii MEMS

Akcelerometry a gyroskopy jsou dnes nejpoužívanější produkty vyrobené technologií MEMS. Akcelerometr je vhodné použít na měření vibrací, gravitace, zrychlení, nárazu, sklonu. Gyroskop je vhodný pro měření polohy. Tyto dva snímače se aplikují u:

- Systému Airbag
- Elektronické stabilizace jízdy automobilu
- Navigačních systémů
- Asistenčních systému pro řidiče automobilu
- Adaptivního řízení
- Aktivních tlumičů automobilu
- Zabezpečovacích systému
- Mobilních telefonů
- Hraček a video her
- Sportovního náčiní
- a dalších aplikací

Akcelerometr a gyroskop se v průmyslu využívají k:

- Řízení robotů
- Řízení manipulátorů
- Detekce vibrací (CNC stroje, roboty, stavby a další)
- Měření náklonu
- Měření odstředivé síly
- a k dalším aplikacím

5.2.1 Akcelerometr

Jak již bylo řečeno, akcelerometr má velmi široké využití. Tyto senzory jsou určeny pro měření statického a dynamického zrychlení. Pokud dojde k vyvolání síly, při změně rychlosti pohybu, jedná se o dynamické zrychlení. Vzniklá síla se označuje jako akcelerace nebo decelerace. Statické zrychlení je způsobeno gravitací. Použitá technologie a fyzikální princip, na kterém akcelerometr pracuje, určuje přesnost snímače. Technologie výroby se volí podle budoucí aplikace senzoru. Jestliže např. senzor bude použit pro letecký nebo vojenský průmysl, budou výrobní náklady vyšší. Oproti tomu senzory použité v mobilních telefonech nebo herních konzolách se vyrábí s co nejnižšími náklady.

Akcelerometry se dělí na [26]:

- Piezoelektrické
- Piezoodporové (tenzometrické)
- Tepelné
- Kapacitní
- Akcelerometry s využitím principu tunelování

Akcelerometr vychází z druhého Newtonova zákona, který je zapsán v rovnici 5.1.

$$F = m \cdot a \text{ [N]} \quad [5.1]$$

Kde:

m – hmotnost [kg]

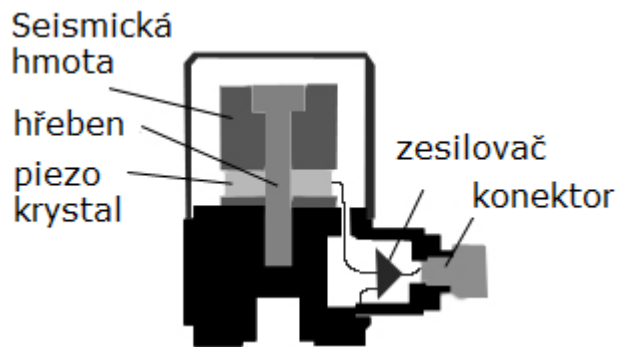
a – zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

Existuje ještě další rozdělení akcelerometrů, a to podle počtu os, ve kterých měří působení síly. Dnešní standardní senzory měří převážně dvě osy, X a Y, nebo tři osy X, Y a Z. Jednoosé akcelerometry jsou již výjimkou, používaly se spíše na samotném začátku vývoje těchto senzorů. U akcelerometrů, které měří všechny tři osy, je potřeba počítat s tím, že na osu Z, stále působí gravitační zrychlení země. Gravitační zrychlení Země má velikost 1 g. Výstupem akcelerometru jsou tři hodnoty signálu, z každé měřené osy. Signály jsou připojeny k analogově digitálnímu převodníku. Převodník je integrovaný v MCU (Micro Control Unit) nebo je externí. Bitový rozsah převodníku je jednou ze složek přesnosti akcelerometru. Přesnost dále velmi ovlivňuje teplota. U levnějších akcelerometrů někdy nastává posun nuly. Hladina 0 g se posune a senzor měří špatné hodnoty. Problém, který přináší teplota, je potřeba zohlednit již při návrhu senzoru.

Akcelerometr se skládá ze základny, pružiny a tlumení. Vyhodnocuje se výchylka pružiny oproti základně, která je pevně ukotvená. Tlumení může být příliš malé, příliš velké nebo optimální. Pokud je tlumení příliš malé objeví se překmity. U příliš velkého tlumení, je omezován frekvenční rozsah senzoru. Reálné senzory měří frekvence, které jsou menší než 20 % rezonanční frekvence. Existují dva základní typy senzoru, relativní a absolutní. Absolutní senzory mají vztažný bod uvnitř senzoru. Relativní senzory se nacházejí uvnitř senzorů absolutních a měří polohu vůči vztažnému bodu. Přesnost běžných akcelerometrů se pohybuje okolo 5 % [26].

Piezoelektrické akcelerometry jsou velmi rozšířené. Základním principem měření je vyhodnocování působení, seismické hmoty na piezokrystal. Seismická hmota se nachází nad piezokrystalem. Krystal je přírodní nebo keramický. Vyhodnocuje se náboj, který vytváří piezokrystal. Nejčastěji vyhodnocení probíhá pomocí vnitřní elektroniky. Existuje i možnost použít externí elektroniku, ale její připojení je podmíněno zabezpečením vysoké

vstupní impedance. Piezoelektrické akcelerometry jsou rozšířené díky jednoduchosti konstrukce a přijatelným nákladům. Největší nevýhodou piezoelektrického akcelerometru je to, že nemůže měřit statické zrychlení. Není tedy možné měřit frekvence nižší než 0,1 Hz. Struktura piezoelektrického akcelerometru se nachází na Obr. 17.



Obr. 17 Piezoelektrický akcelerometr [27]

I přes nevýhodu, která znemožňuje měření statického zrychlení je piezoelektrický akcelerometr schopen měřit vysoké hodnoty dynamického zrychlení. Měřitelné hodnoty dynamického zrychlení se pohybují v jednotkách tisíců g.

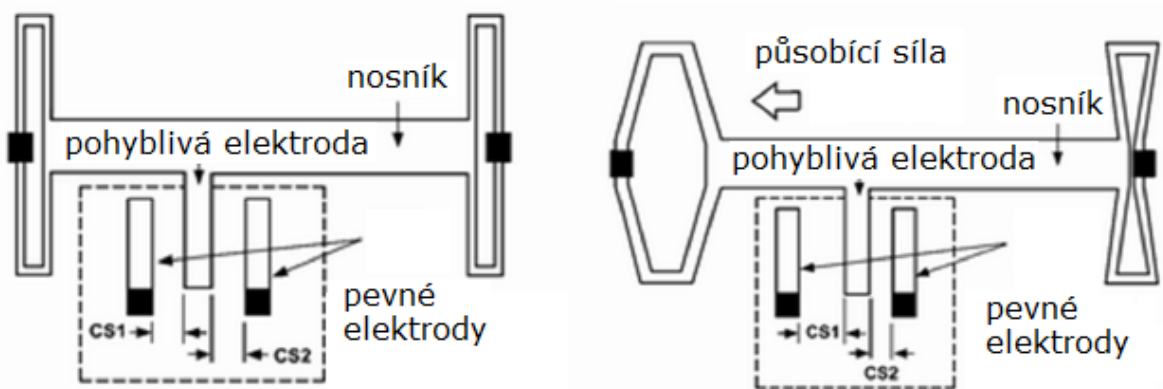
Piezoodporové akcelerometry pracují na principu tenzometru. Jedná se tedy o měření ohmického odporu, který je ovlivňován změnou velikosti piezoodporového prvku. Nejjednodušší příklad tohoto akcelerometru je vetknutý nosník. Na konci nosníku je připevněna seismická hmota a na nejpravděpodobnějším místě ohybu je upevněn piezoodporový člen. Působením síly na nosník se piezoodporový člen zkracuje nebo natahuje a mění svůj ohmický odpor.

Tepelné akcelerometry mají obdobnou konstrukci jako piezoodporové. Na konci vetknutého nosníku je vyhřívací rezistor. V nosníku jsou vytvořené malé komory. Volné místo je vyplněno plynem a hmota je vyhřívána na stanovenou teplotu. Teplotní rovnováha mezi vyhřívanou hmotou a komorami je do té doby, dokud nepůsobí akcelerační zrychlení. Pomocí teplotního senzoru se měří množství tepla. Teplo procházející, od hmoty do komor, přes plyn je funkcí vzdálenosti. Výhodou tepelných akcelerometrů je vysoká odolnost vůči elektromagnetickému a elektrostatickému rušení. Nevýhodou je citlivost senzoru [26].

Akcelerometr s využitím principu tunelování je velice specifický. Pracuje na principu měření tunelovacího proudu. Tunelovací proud vzniká při přiblížení dvou atomů na velice malou vzdálenost. Velikost proudu je přímo závislá na vzdálenosti.

Kapacitní akcelerometry jsou nejrozšířenější senzory pro měření zrychlení. Jejich rozšíření napomohla integrace do systému MEMS. Princip činnosti vychází z měření

kapacity vnitřního kondenzátoru. Kapacita kondenzátoru se mění v závislosti na působící síle. Akcelerometr má pohyblivou elektrodu a pár pevných elektrod. Při působení síly na jedné straně, mezi pevnou a pohyblivou elektrodou, kapacita klesá a na druhé straně roste. Nejjednodušší uspořádání obsahuje jednu pohyblivou elektrodu, pružinu, tlumení a deskový kondenzátor. Toto jednoduché uspořádání se v praxi téměř nepoužívá. Častější je diferenciální nebo hřebenové uspořádání. V levé části Obr. 18 je akcelerometr v klidu. Na pravé straně na senzor působí síla vyvolaná zrychlením.

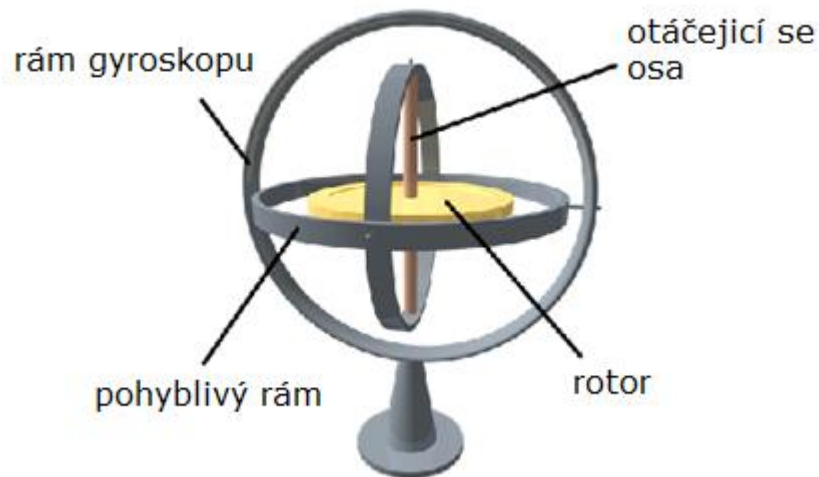


Obr. 18 Kapacitní akcelerometr [28]

Hřebenové uspořádání se běžně skládá ze 42 měřících článků a 12 samo testovacích. V dnešní době se k zhotovení kapacitních akcelerometrů využívá technologie MEMS. Nejčastěji jsou senzory dvou nebo tří osé. Měření všech os je integrované na jednom substrátu. Tyto senzory se zhotovují technologií, která se nazývá mikro obrábění křemíku. Materiál, na výrobu technologie MEMS, je polykrystalický Si nebo vzácně GaAs. Dále se používají skla, polymery, keramika, kompozitní materiály, SiO₂, SiN, Al, W a Au. Elektronické součásti se vyrábějí technologií CMOS. Pomocí mikro obrábění se pak zhotovují mechanické součásti. Mikro obrábění může být objemové nebo povrchové [26].

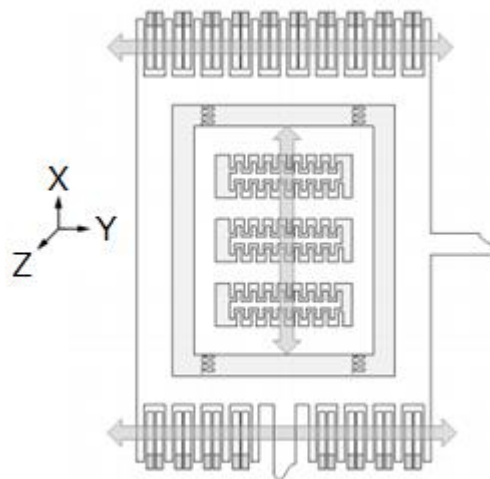
5.2.2 Gyroskop

Gyroskopy a akcelerometry v současnosti zaznamenávají největší rozvoj. Zpočátku se předpokládalo využití hlavně v průmyslu, ale v současnosti se oba senzory uplatňují v mobilních zařízeních. Základní principem gyroskopu je měření úhlové rychlosti. Měří se rychlost otáčení objektu vzhledem k jedné ze tří os X, Y nebo Z. Gyroskop je setrvačnický, na jehož osu při otáčení nemají vliv vnější síly. Tato vlastnost se využívá pro orientaci v prostoru [36]. Na Obr. 19 je znázorněn původní Gyroskop.



Obr. 19 Gyroskop [36]

Dnešní gyroskopy se vyrábí pomocí technologie MEMS. Za vývojem MEMS gyroskopů a akcelerometrů stojí hlavně firma Analog Devices. V sortimentu Analog Devices je možné najít celou řadu akcelerometrů, které měří ve dvou nebo třech osách, a moderní gyroskopy. Gyroskopy vyrobené technologií MEMS využívají k měření Coriolisovou sílu. V jednoduchosti lze říci, že Coriolisova síla působí na objekt, který vykonává rotační pohyb kolem osy. V reálném světě je možné se s Coriolisovou silou setkat např. při odtoku vody v umyvadle. Právě tato síla způsobuje, že na severní polokouli má vodní vír odtékající vody stejný směr jako hodinové ručičky. Na jižní polokouli má Coriolisova síla opačný směr a na rovníku je nulová. Dalším reálným příkladem je směr rotace tornáda nebo kolejová doprava, kde bývá vždy jedna kolej více opotřebovaná. Na stejném principu funguje mechanický gyroskop. Na objekt, který je upevněný na pružinách působí Coriolisova síla. Rychlost otáčení je přímo úměrná Coriolisově síle, což se využívá pro měření úhlové rychlosti [29]. Základním rozdílem mezi akcelerometrem a gyroskopem je fakt, že u akcelerometru se s rámem senzoru pohybuje pouze při působení vnější síly. U gyroskopu se s rámem senzoru pohybuje záměrně, aby došlo k vzniku Coriolisově síly. Nákres zjednodušené struktury MEMS gyroskopu ADXRS450 je na Obr. 20.



Obr. 20 Vnitřní struktura MEMS gyroskopu ADXRS450 [30]

Základní rozdělení gyroskopů je následující:

- Rotační
- Vibrační
- Optické

Rotační gyroskop pracuje na výše uvedeném principu. Dalším typem gyroskopu je vibrační. Vibrační gyroskop pracuje s Coriolisovým zrychlením. Seismická hmota je upevněná na pružinách, které dovolují pohyb v jednotlivých osách. Coriolisovo zrychlení se indikuje v Y, která je kolmá na osy X a Z. Osa Y se nazývá osa senzitivity, X je osa pohybu a Z je vstupní rozsah.

Optický gyroskop využívá vlastnosti optického záření pro zjištění úhlové rychlosti. Senzor pracuje na principu interferometru. Optický gyroskop je složen ze svazků laseru. Detekuje se fázový posuv, který je způsobený relativistickým skládáním světla jednotlivých paprsků. To se odehrává, pokud se otáčí prostředí, které vytváří dráhu interferometru [31].

6 Návrh měřícího obvodu

6.1 Teoretický návrh Smart senzoru

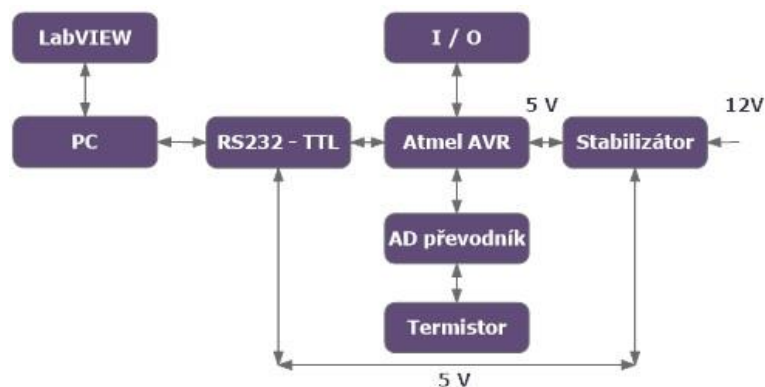
Smart senzory se navrhují podle svého budoucího uplatnění. Na počátku se stanoví cíle, které senzor bude splňovat, následně se navrhnu jeho parametry a případně softwarové vybavení. Tento typ senzoru se vytváří pomocí nových technologií, které byly zmíněné v kapitole 3. Výroba je velkosériová, kdy se produkuje velké množství senzorů. Tento fakt velmi stěžuje navržení senzoru, protože kusová výroba je velmi nákladná. Alternativou může být použití mikroprocesoru s dalšími prvky nebo jiného vývojového kitu. Model senzoru se musí co nejvíce blížit parametrům senzoru a jeho chování. Na modelu se testuje navržený firmware nebo jiné programové vybavení.

6.2 Návrh Smart senzoru pomocí mikroprocesoru Atmel

Jeden z cílů této práce je navrhnout program, který vytvoří komunikaci mezi počítačem a Smart senzorem. Použitý Smart senzory v této práci není profesionální, ale je vyrobený za pomoci běžně dostupných technologií a součástek.

6.2.1 Blokové schéma Smart senzoru s mikroprocesorem Atmel

Na Obr. 21 je zapojení Smart senzoru s mikroprocesorem Atmel. Zde jsou i další prvky, pomocí kterých se senzor připojuje k počítači.



Obr. 21 Zapojení Smart senzoru s mikroprocesorem Atmel

Tab. 2 Použité součástky u varianty modelu senzoru s mikroprocesorem

Součástky Smart senzoru s mikroprocesorem	
součástka	název
mikroprocesor	Atmel AT mega8
krystal	HC49US, 16MHz
převodník TTL - RS232	MAX232IN
4 x kondenzátor	10 μ F
2 x kondenzátor	33nF
2 x kondenzátor	22pF
rezistor	10 000 Ω
stabilizátor	7805-STM
chladič	V7100 GOLD
patice	SOKL 16
patice	SOKL 28
termistor	NTC640-10K
konektor	XINYA CAN 9 Z 90
3 x svorky	WAGO804-103
4 x svorky	WAGO233-502

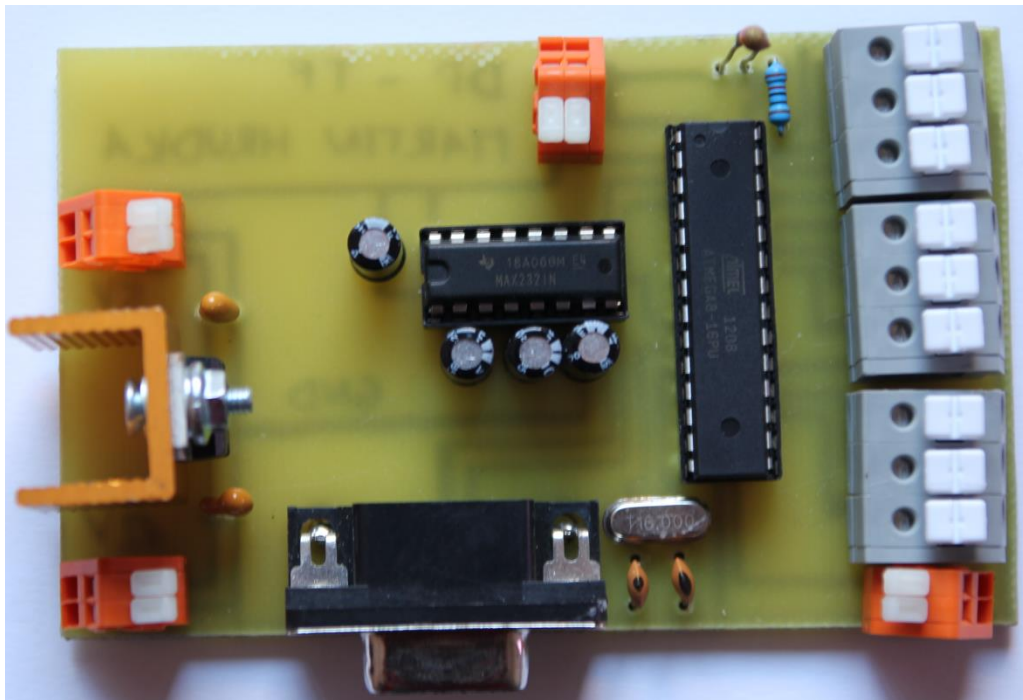
V Tab. 2 je seznam součástek, ze kterých je Smart senzor sestaven. Srdcem senzoru je 8 bitový procesor Atmel ATmega8. Blokové schéma tohoto mikroprocesoru je znázorněné v příloze č. 2. Tento mikroprocesor disponuje vestavěným analogově digitálním převodníkem, jedním 16 bitovým čítačem nebo dvěma 8 bitovými čítači, vnitřním oscilátorem, rozhraním USART a dalším příslušenstvím. Architektura mikroprocesoru je RISC (Reduced Instruction Set Computing). ATmega8 pracuje se 130 instrukcemi. Mikroprocesor pracuje na frekvenci 16 MHz. Velikost paměti EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) je 512 Bajtů a paměti SRAM (Static Random Access Memory) 1000 Bajtů. Mikroprocesor má dvacet tři pinů, které slouží jako programovatelné vstupy nebo výstupy. Pracovní napětí se pohybuje v rozmezí od 2,7 V do 5,5 V. Při aktivním pracovním režimu se spotřeba pohybuje okolo 3,5 mA.

6.2.2 Princip činnosti Smart senzoru s mikroprocesorem

Smart senzor je navržený pro měření teploty. Jak již bylo výše uvedeno, základem senzoru je mikroprocesor. Mikroprocesor zpracovává hodnoty, které naměří pomocí vestavěného analogově digitálního převodníku. K tomuto převodníku je připojený termistor, který měří okolní teplotu. Hodnoty převzaté s analogově digitálního převodníku jsou posílány pomocí jednotky USART k dalšímu zpracování. Vývody RX a TX, které slouží pro komunikaci jednotky USART, jsou připojeny k převodníku MAX232IN, který

zabezpečuje převod hodnot TTL na standard RS-232. Převedené hodnoty signálu jsou převodníkem poslány na konektor, sloužící pro připojení k sériové lince počítače.

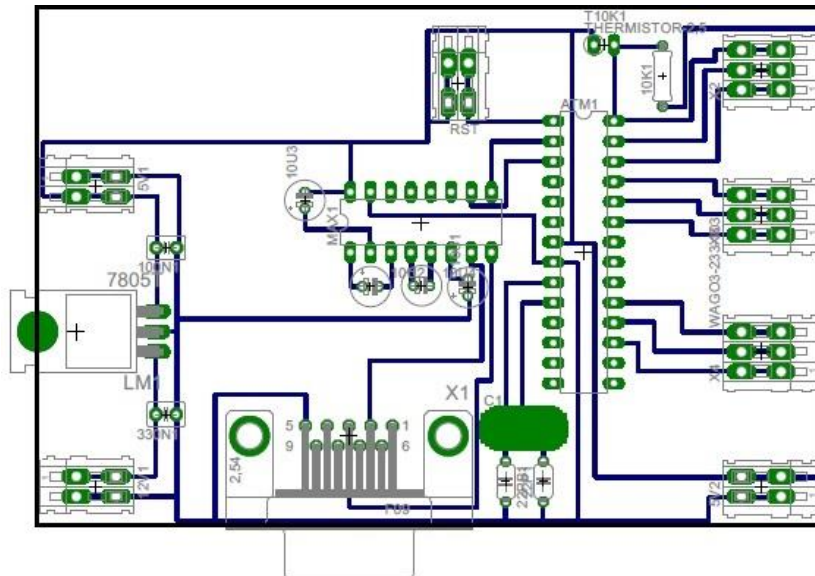
Mikroprocesor je napájený ze stabilizátoru napětí hodnotou 5 V. K mikroprocesoru jsou dále připojeny svorky pro vstupy a výstupy a krystal. K převodníku MAX232IN jsou připojené jednotlivé kondenzátory, podle datasheetu. Hotový výrobek Smart senzoru je na Obr. 22.



Obr. 22 Vyrobený Smart senzor

6.2.3 Popis návrhu Smart senzoru s mikroprocesorem

Počáteční fáze návrhu vždy začíná na papíře a studiem datasheetu. Podle požadovaného uplatnění senzoru je potřeba navrhnout seznam součástek a jejich zapojení. Po úspěšném zdolání této fáze je potřeba najít nástroj, který lze použít pro navržení elektrického schématu a rozvržení součástek. Pro tento projekt byl vybrán software, který se řadí do skupiny CAD (Computer Aided Design). Software se jmenuje EAGLE a slouží k návrhu PCB (Printed Circuit Board). Postup je jednoduchý, jednotlivé součástky se rozmístí podle potřeby po ploše a pak se mezi nimi vytvářejí vodivá spojení. V příloze č. 3 je znázorněné zapojení tohoto návrhu. Na Obr. 23 je zobrazen návrh plošných spojů pro Smart senzoru s mikroprocesorem.



Obr. 23 PCB návrh Smart senzoru

V další fázi je potřeba naprogramovat mikroprocesor. K tomu slouží software, který zdarma poskytuje výrobce mikroprocesorů. Vývojové prostředí pro procesory Atmel AVR se jmenuje Atmel Studio 6.0. Na počátku je potřeba se rozhodnout, zda se bude program vytvářet pomocí jazyku Assembler nebo C/C++. Každá varianta má svoje výhody a nevýhody. Programování v Assembleru je zdlouhavější, ale výsledný program je rychlejší a jeho velikost je menší. Oproti tomu programování v C/C++ je značně pohodlnější, nejsou zde tak velké nároky na znalost struktury mikroprocesoru oproti první variantě. Největší výhodou druhé varianty je velké množství programů, které jsou volně dostupné na internetu. V příloze č. 1 je program, který je uložený v mikroprocesoru pro tuto konkrétní úlohu.

Na počátku programu se definují jednotlivé knihovny a frekvence krystalu. V prvním odstavci se spustí analogově digitální převodník a nastaví se na příslušný výstup. Druhý odstavec provádí inicializaci jednotky USART a nastavuje příslušné parametry. Na dalších řádcích program provádí načtení a následné vysílání dat z jednotky USART. V poslední části se hodnoty z analogově číslicového převodníku přiřadí do registrů jednotky USART a posílají se na výstup. Hotový program se do mikroprocesoru nahraje pomocí programátoru. Existuje mnoho typů, od originálních, neoriginálních až po programátory, které se podle návodu mohou sestavit doma. V tomto případě byl použitý originální programátor Atmel AVRISP mkII. Připojení k mikroprocesoru se realizuje pomocí šesti drátů, kde jednotlivé dráty reprezentují příjem dat, odeslání dat, synchronizaci, napájecí napětí, zem a reset.

6.2.4 Návrh programu v LabVIEW

Hlavním cílem je navrhnout program, který bude komunikovat se Smart senzorem. Pro splnění tohoto úkolu bylo vybráno prostředí LabVIEW, i když existují další programy, třeba Test Point. Software LabVIEW vyvíjí firma National Instruments. Tato firma nabízí i plno hardwarových řešení pro svoje programové vybavení.

Produkt, který by bylo možné použít pro tuto úlohu, se jmenuje NI myDAQ (Data Acquisition). Pomocí myDAQ je možné sestavit zařízení, které by odpovídalo blokovému schématu Smart senzoru. MyDAQ je zařízení, které se pomocí rozhraní USB připojí k počítači. Zařízení je vybaveno analogovými a digitálními vstupy a výstupy. Pomocí vstupů a výstupů je možné provádět různá měření nebo realizovat vlastní úlohy. MyDAQ je určen především pro studenty, pro osvojení základních měřících technik. Zařízení umožňuje měřit parametry diod, střídavé a stejnosměrné napětí, elektrický odpor, kapacitu, indukci, střídavý a stejnosměrný proud. Úlohu je možné postavit i obráceně a myDAQ lze využít jako funkční generátor. V souhrnu toto zařízení poskytuje multifunkční voltmetr, funkční generátor a dvoukanálový osciloskop. Nejsilnější stránkou myDAQ je integrace do programu LabVIEW. Bohužel LabVIEW není součástí balení. I samotná cena zařízení je poměrně vysoká, okolo 4000 Kč, a proto je k splnění zadání využít navržený senzor, který je popsán výše.

Prostředí LabVIEW se skládá se dvou pracovních ploch. Jedna se nazývá Front panel a druhá Block diagram. Front panel je uživatelské rozhraní, které při běhu programu slouží k nastavení různých parametrů a sledování výsledků. Na Obr. 24 je Front panel programu, který komunikuje se Smart senzorem.

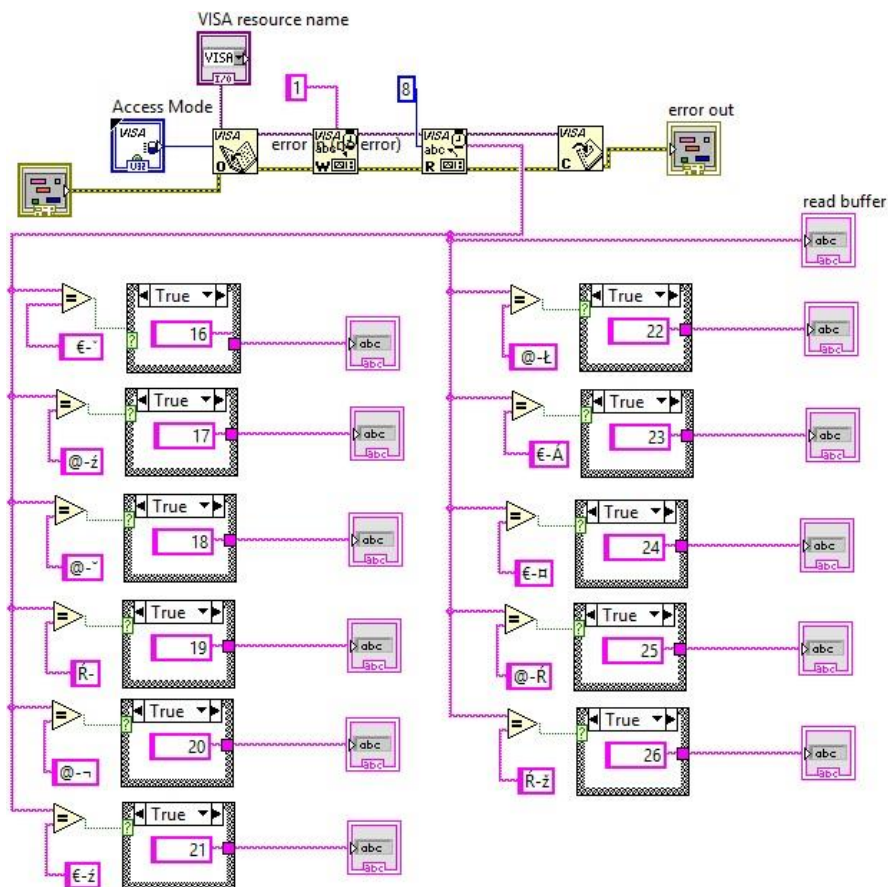


Obr. 24 Front panel pro komunikaci se Smart senzorem

V levém horním rohu se volí port, pomocí kterého bude software komunikovat. Dále se volí režim komunikace. Další dvě okna, error in a error out, slouží pro zobrazení chyb na vstupu a výstupu. Kolonka read buffer ukazuje hodnotu, kterou poslal mikroprocesor. Sloupec vpravo zobrazuje vypočtenou hodnotu teploty podle poslaných dat.

Block diagram se zabývá už vlastním návrhem programu. Různé nástroje se vybírají z palety a následně se spolu propojují. Nynějším trendem je vývoj vlastních nástrojů, které je možné do palety nainstalovat. Existuje internetový obchod s těmito nástroji, kde je velké množství nástrojů zdarma.

Na Obr. 25. je Block diagram programu pro komunikaci se Smart senzorem. Program by mohl být mnohem jednodušší, ovšem potřebné nástroje na zjednodušení jsou placené.



Obr. 25 Program v LabVIEW pro Smart senzor

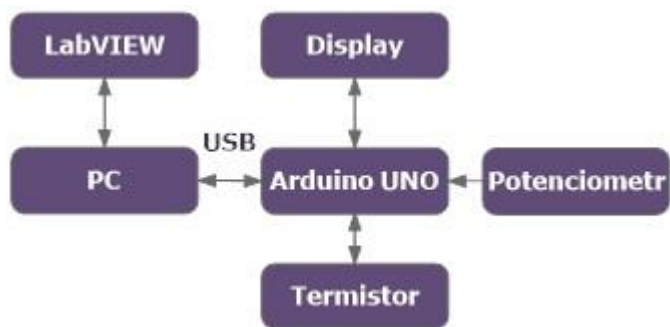
V horní linii bloků se inicializuje port, přes který se komunikuje. Provádí se nastavení posílané konstanty a délky posílané zprávy. Dále je potřeba nastavit mód, ve kterém bude port pracovat a ošetřit ho před případným chybovým hlášením. Ostatní bloky, které spojuje růžová čára, slouží pro převod přijaté zprávy na teplotu. Teplotní rozsah, pro který program pracuje, je 16 °C až 26 °C. Podnět pro výběr tohoto rozsahu je z automobilového průmyslu.

6.3 Návrh Smart senzoru pomocí přípravku Arduino

K sestavení Smart senzoru je možné využít nějakého elektronického přípravku. Pro tento úkol se nejvíce hodí přípravek od firmy Arduino. Hlavním důvodem výběru je podpora přípravku Arduino v prostředí LabVIEW.

6.3.1 Blokové schéma Smart senzoru s použitím přípravku Arduino

Na Obr. 26 je blokové schéma Smart senzoru, sestaveného pomocí elektronického kitu.



Obr. 26 Blokové schéma Smart senzoru s využitím Arduina UNO

Použitím kitu se práce po hardwarové i softwarové stránce velmi usnadní. Smart senzor, sestrojený tímto způsobem, dostal určitá vylepšení. Od návrhu s mikroprocesorem se liší především tím, že je vybavený displejem. Na displeji se zobrazují měřené hodnoty a název úlohy. Potenciometr, připojený k přípravku Arduino, nastavuje kontrast displeje. Komunikace s počítačem je značně zjednodušená, protože Arduino UNO podporuje rozhraní USB.

6.3.2 Popis funkce Smart senzoru s využitím přípravku Arduino

Na začátek je potřeba uvést základní parametry přípravku, které jsou v Tab. 3.

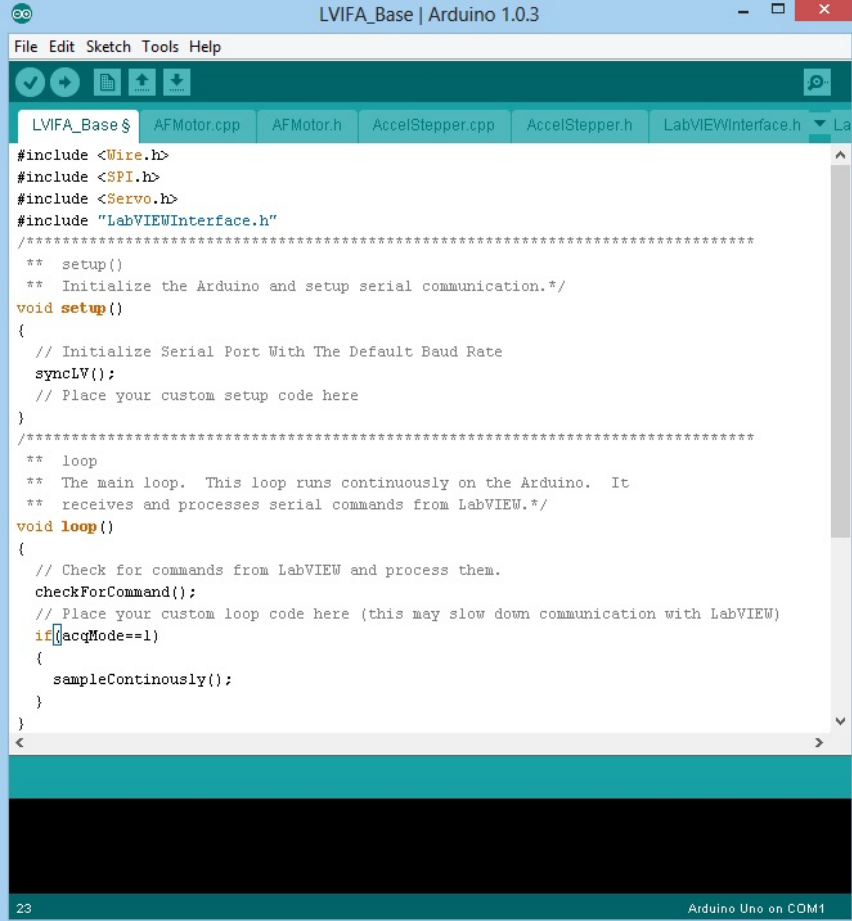
Tab. 3 Základní parametry přípravku Arduino [35]

Charakteristika Arduina UNO	
mikroprocesor	Atmel Atmega 328
provozní napětí	5 V
vstupní napětí	7 - 12 V
digitální vstupy a výstupy	14
analogové vstupy a výstupy	6
Flash paměť	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
frekvence hodin	16 MHz

Jedná se přípravek italského výrobce a konkrétně jde o produkt Arduino UNO. Výrobce nabízí i plno dalších přípravku např. Arduino Ethernet, Leonardo, DUE a další. Pro tento úkol byl vybrán model UNO, protože patří mezi základní přípravky a svými vlastnostmi plně vyhovuje zadanému úkolu.

Princip činnosti je obdobný, jako u varianty s mikroprocesorem. Opět je mikroprocesor hlavním prvkem celého návrhu. Pokud přípravek Arduino pracuje s programem LabVIEW, činnost procesoru řídí počítač. Do mikroprocesoru se uloží program, který zabezpečuje komunikaci s počítačem. Pokud přípravek nepracuje s programem LabVIEW, program je klasicky uložen v paměti mikroprocesoru a posloupně se vykonává.

K programování přípravku Arduino slouží nástroj přímo od výrobce. Tento nástroj se jmenuje Arduino sketch a je zdarma. Pro komunikaci z programem LabVIEW je potřeba nahrát do přípravku program, který je na Obr. 27.

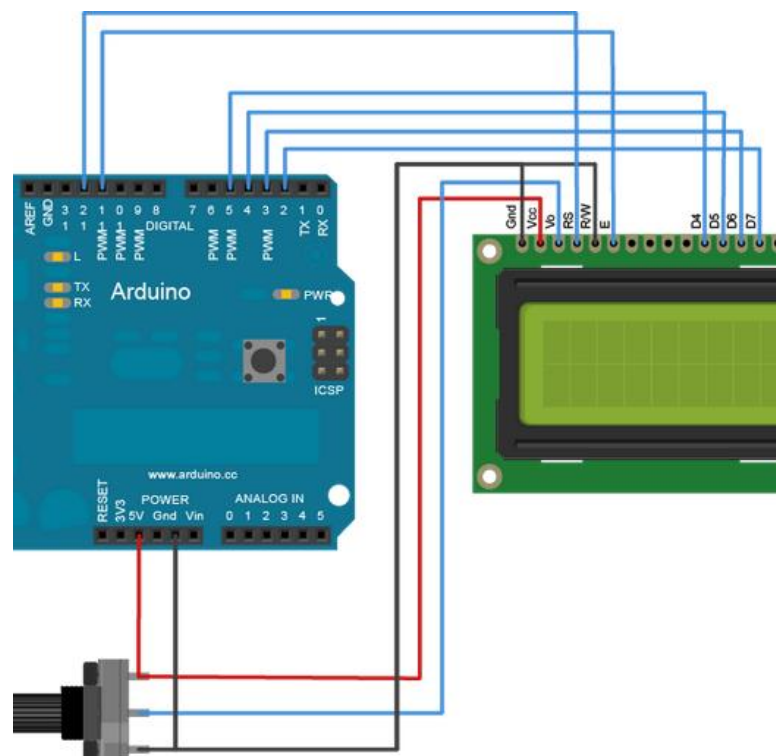


```
LVIFA_Base | Arduino 1.0.3
File Edit Sketch Tools Help
LVIFA_Base $ AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h LabVIEWinterface.h La
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"
/*****
** setup()
** Initialize the Arduino and setup serial communication.*/
void setup()
{
  // Initialize Serial Port With The Default Baud Rate
  syncLV();
  // Place your custom setup code here
}
/*****
** loop
** The main loop. This loop runs continuously on the Arduino. It
** receives and processes serial commands from LabVIEW.*/
void loop()
{
  // Check for commands from LabVIEW and process them.
  checkForCommand();
  // Place your custom loop code here (this may slow down communication with LabVIEW)
  if(acqMode==1)
  {
    sampleContinuously();
  }
}
<
```

Obr. 27 Program pro komunikaci s programem LabVIEW

6.3.3 Zapojení a sestavení kitu Arduino

Výrobce přípravků Arduino zdarma poskytuje velmi pěknou dokumentaci. Z těchto materiálů jsou nejdůležitější schémata zapojení a seznam parametrů k jednotlivým přípravkům. Při návrhu Smart senzoru bylo potřeba k přípravku připojit termistor, displej a potenciometr. Zapojení těchto součástek je v manuálu k výrobku. Výřez pro zapojení displeje a potenciometru je na Obr. 28.



Obr. 28 Schéma zapojení displeje k přípravku Arduino [20]

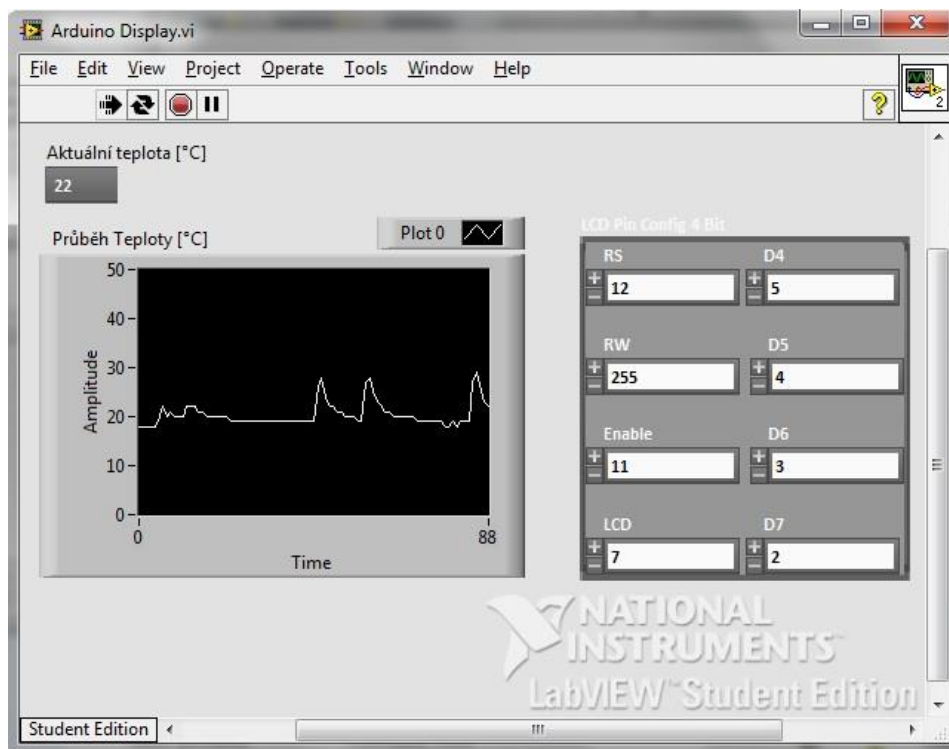
Termistor je připojen na analogový vstup A0 a na zem. Napájet přípravek Arduino UNO je možné externě nebo pomocí USB. V tomto případě je přípravek napájen z rozhraní USB, protože stále pomocí něj komunikuje s programem LabVIEW.

6.3.4 Integrace do programu LabVIEW a návrh programu

Přípravek Arduino byl vybrán hlavně kvůli své vynikající integraci do programu LabVIEW. Program LabVIEW, jak již bylo popsáno, je možné rozšiřovat pomocí instalace dalších nástrojů. V tomto případě italský výrobce přípravku Arduino zdarma dodává nástroje pro komunikaci se svými moduly. Tyto nástroje je možné si stáhnout na stránkách firmy National Instruments nebo pomocí portálu LabVIEW tools network.

Nástroje pro moduly Arduino pracují se zobrazovacími prvky, digitálními vstupy a výstupy, analogovými vstupy a výstupy, konkrétními senzory s dalším perifériemi. Pro lepší pochopení a zjednodušení práce, jsou nástroje vybaveny příklady použití.

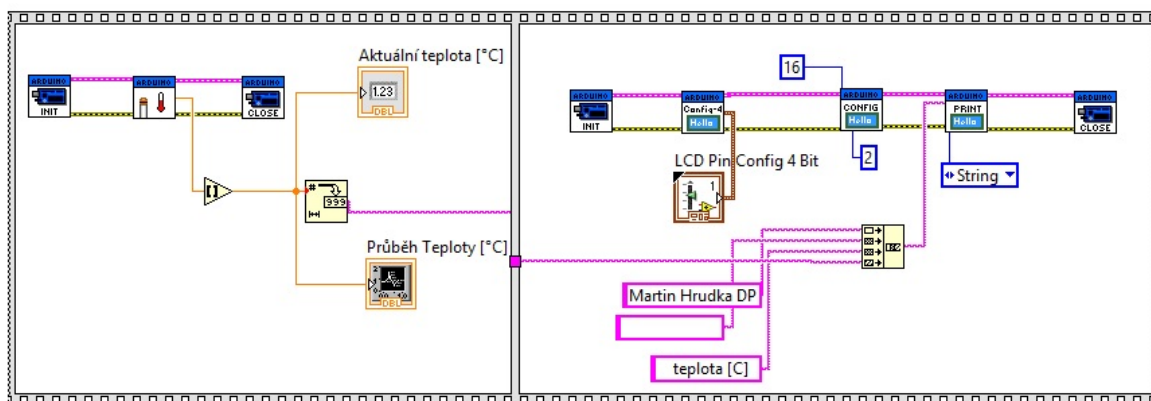
Hlavním úkolem v programu LabVIEW je vytvořit program, který by s přípravkem Arduino komunikoval. Program se opět skládá ze dvou částí, a to Front panel a Block diagram. Na Obr. 29 je zmiňovaný Front panel pro tuto úlohu.



Obr. 29 Front panel pro přípravku Arduino

Panel lze z funkčního hlediska rozdělit na dvě části. Vlevo je teplota zobrazována numericky a v dolní části graficky. Pravá část Front panelu slouží ke konfiguraci. Konkrétně jde o konfiguraci displeje, který je k přípravku Arduino připojen.

Druhou část programu tvoří Block diagram, ten je znázorněn na Obr. 30.

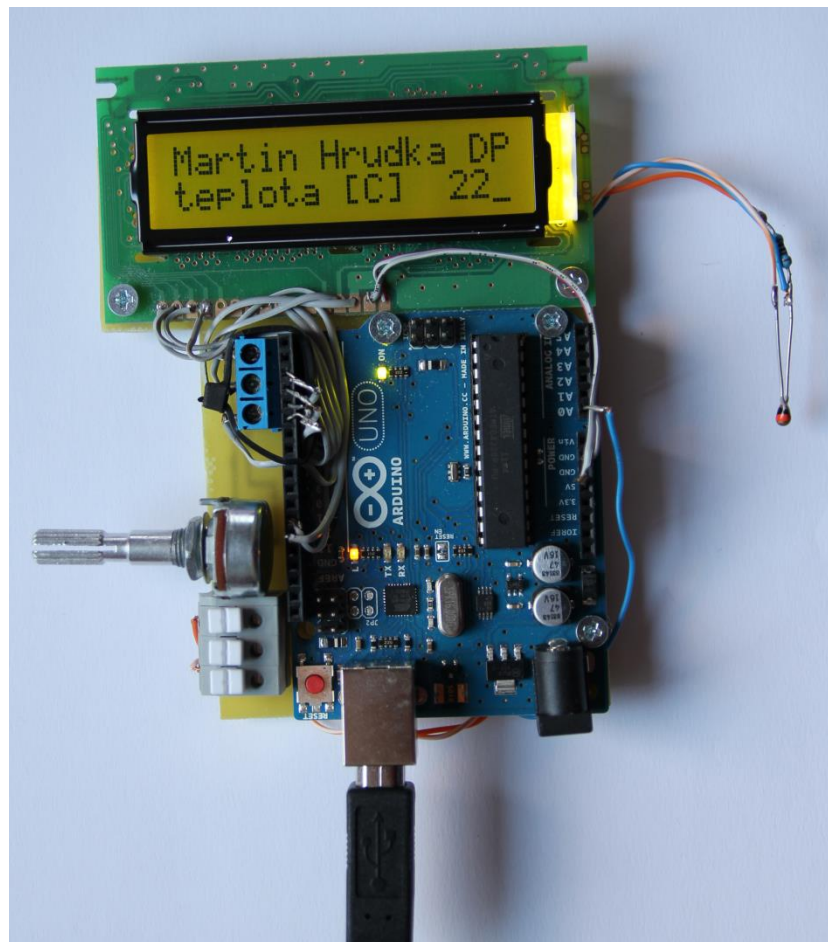


Obr. 30 Block diagram pro přípravku Arduino

Na první pohled je patrné, že toto řešení je mnohem elegantnější oproti variantě Smart senzoru s mikroprocesorem. Nástroje, poskytnuté přímo od výrobce přípravků Arduino, jsou velice snadno použitelné a efektivní. Block diagram bylo potřeba rozdělit do dvou sekvencí, protože přípravek neumí pracovat s jednotlivými perifériemi najednou. Velmi jednoduše lze říci, že přípravek se nejdříve inicializuje, provede se jedna operace

a komunikace se ukončí. Za tohoto předpokladu by nebylo možné vytvořit program, který snímá hodnotu analogového vstupu a pracuje s displejem.

Levá část programu zpracovává měřenou teplotu. Jednotlivé bloky zobrazí teplotu numericky a následně ji zanesou do grafu. Posledním důležitým úkolem v této části je převod měřené teploty na znakový řetězec. Tento řetězec je jediný vstup, který pokračuje do druhé části programu. Pravá část programu pracuje s displejem. Provádí se zde opět inicializace přípravku Arduino a nastavení displeje. Poslední fází je poslání dat, které bude displej zobrazovat. Tato data jsou složena ze čtyř řetězců. Řetězce obsahují název práce, popis k měřené teplotě, hodnotu teploty a mezeru, která posouvá některé řetězce na druhý řádek displeje. Fotografie Smart senzoru s přípravkem Arduino je na Obr. 31.



Obr. 31 Smart senzor s přípravkem Arduino

7 Vývoj Smart senzorů v budoucnosti

Vývoj inteligentních senzorů v dnešní době nabral prudkého vzrůstu. S postupem technologie MEMS si Smart senzory nacházejí čím dál tím větší uplatnění. Každá větší firma, zabývající se sensorikou, má vlastní vývojové centrum, kde jednotlivé výrobky postupně vznikají. S přibývajícím uplatněním Smart senzorů, především v mobilních telefonech a dalších zařízeních, se i tyto firmy rozhodly vybudovat vlastní vývojové centrum pro Smart senzory. Ve výsledku bylo na trhu mnoho produktů, přičemž většinu z nich bylo možné využít jen pro jednu konkrétní aplikaci nebo přístroj. Toto je hlavní důvod proč se institut IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) snaží o standardizaci Smart senzorů. Cílem standardizace je sjednotit směr, kterým se vývoj ubírá. Z historického hlediska je odvětví Smart senzorů velmi mladé. Jako počátek Smart senzorů lze brát vydání prvního standardu, tedy rok 1997.

Po zavedení standardů se většina výrobců snažila splnit nejčastější požadavky na produkty. Ve výsledku byly výrobky dražší než by si zákazník představoval. Nyní startuje trend, který bude udávat budoucí vývoj Smart senzorů. Trendem je vytvářet zařízení na zakázku a to konkrétně modulární MCU.

7.1 IEEE 1451 [1]

Standard zabývající se problematikou Smart senzorů nese označení IEEE 1451. Mezi nejdůležitější standardy, které IEEE 1451 obsahuje, patří:

- IEEE 1451.0 (2007)
- IEEE 1451.1 (1999)
- IEEE 1451.2 (1997)
- IEEE 1451.3 (2002)
- IEEE 1451.4 (2005)
- IEEE 1451.5 (2007)
- IEEE 1451.7 (2010)

Zavedení standardu IEEE 1451 přináší tyto výhody:

- Zajištění kompatibility komunikace s drátovými a bezdrátovými sítěmi
- Definice mnoha příkazů a operací, které platí pro všechny senzory
- Možnost linearizace a kalibrace

7.1.1 IEEE 1451.0

Standard IEEE 1451.0 definuje fyzickou komunikaci. Dále jsou definovaná základní data a protokoly. Standard se hlavně zabývá formátem TEDS (Transducer Electronic Data

Sheets), komponentami NCAP (Network Capable Application Processor) a TIM (Transducer Independent Module). Komponenty NCAP a TIM jsou propojeny pomocí TII (Transducer Independent Interface). V jednoduchosti lze NCAP přirovnat k procesní jednotce Smart senzoru a TIM k jednotce vysílací. TII je pak rozhraní mezi NCAP a TIM. TEDS je hlavní komponenta v inteligentním senzoru, kde jsou uloženy data. Pro uložení se nejčastěji využívá paměť EEPROM. Uložené základní informace mají velikost 64 bitů. Rozdělení jednotlivých bitů je patrné z Tab. 4.

Tab. 4 Základní informace formátu TEDS [22]

Základní informace formátu TEDS		
popis informace	počet bitů	rozsah
výrobce	14	17 - 16381
model	15	0 - 32767
verze	5	A - Z (ne ASCII)
číslo verze	6	0 - 63
seriové číslo	24	0 - 16777215

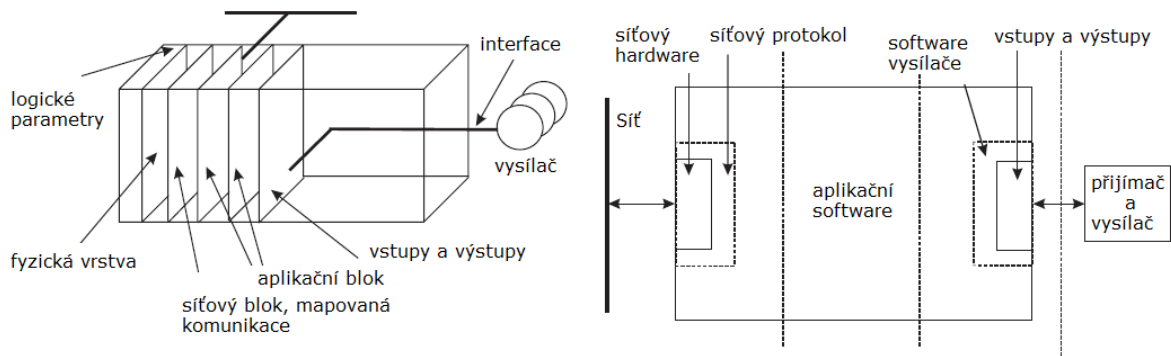
Velikost informací, uložených v EEPROM, je limitována. Nejběžnější paměť, která je k těmto účelům využívána, disponuje velikosti 512 bajtů. Je tedy nutné, aby v ní program obsahoval jen nejdůležitější data s přímou vazbou na použité zařízení. K těmto účelům byl navrhnout jazyk TDL (Template Description Language), s jehož pomocí se navrhují programy TEDS. Jazyk TDL je velmi podobný programovacímu jazyku C++. Výstup jazyku TDL je uložený v textu.

7.1.2 IEEE 1451.1

Standard IEEE 1451.1 definuje tři modely, které znázorňují připojení NCAP k síti. NCAP je složen z procesoru, paměti, vstupu a výstupů. Hlavní úkolem NCAP je v podpoře STIM (Smart Transducer Interface Model). Komplexně, inteligentní senzor STIM obsahuje informace TEDS a pro podporu komunikace využívá NCAP. Modely, které tento standard definuje, jsou:

- Objektový model
- Datový model
- Komunikační model

Komunikační model definuje syntaxi a sémantiku pro komunikaci s komponentou NCAP. Datový model specifikuje formát dat pro komunikační model. Objektový model se zabývá použitím jednotlivých softwarových komponent a návrhem aplikace. Pro lepší představu je model objektový a model komunikační na Obr. 32.



Obr. 32 Objektový a komunikační model

7.1.3 IEEE 1451.2

Standard IEEE 1451.2 definuje interface pro NCAP. Jedná se o komunikaci typu z bodu do bodu. Základním předpokladem tohoto standardu je integrace TEDS do STIM.

7.1.4 IEEE 1451.3

Pod označením IEEE 1451.3 se nachází definice rozhraní, které umožňuje připojení více fyzických senzorů. Označení z angličtiny multi-drop popisuje připojení senzorů pomocí dvou společných vodičů.

7.1.5 IEEE 1451.4

Z rodiny standardů IEEE 1451 byl standard IEEE 1451.4 definován jako první. Popisuje spojení analogových a digitálních operací. Cílem bylo vytvořit interface, který bude tyto operace podporovat. Digitální operace slouží pro práci s TEDS a pro posílání kontrolních příkazů. Analogové operace se používají pro práci se změřenými daty senzorů. V Tab. 5 jsou informace, které obsahuje TEDS podle IEEE 1451.4.

Tab. 5 TEDS IEEE 1451.4

TEDS IEEE 1451.4	
kategorie	parametr
	jméno výrobce
	číslo modelu
	sériové číslo
	číslo revize
	datový kód
zařízení	typ senzoru
	citlivost
	rozsah
	jednotka
	přesnost
kalibrace	datum poslední kalibrace
	kalibrační koeficient
aplikace	kanál identifikace
	síťový kanál
	orientace senzoru

7.1.6 IEEE 1451.5

V roce 2007 byl definován standard IEEE 1451.5, který definuje rozhraní pro přenos informací pomocí bezdrátových sítí. Konkrétně se jedná o komunikaci se standardy IEEE 802.11, IEEE 802.15.1 a IEEE 802.15.4. Standard 802.11 zavádí lokální síť WLAN (Wireless Local Area Network) známou jako WiFi (zkratka zpočátku neměla význam, dnes odvozeno od Wireless Fidelity). WiFi pracuje nejčastěji v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz. Standard je již několikrát modifikovaný na verze 802.11b, 802.11g, 802.11n a další. Liší se především dosahem a přenosovou rychlostí. Standardem 802.11 jsou nyní vybaveny běžně mobilní telefony, notebooky, tablety a další zařízení určena pro komerční využití. Častým problémem tohoto standardu je bezpečnost. Existuje několik možností, jak přenos zabezpečit. Nejpoužívanější jsou certifikáty pravosti a přístupová hesla do sítě. Mezi nejrozšířenější zabezpečení patří WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA (WiFi Protected Access) a WPA2 (WiFi Protected Access 2). Rychlost nejběžnější varianty 802.11g je 54 Mbit/s na vzdálenost několik desítek metrů.

Standard IEEE 802.15.1 je známý pod názvem Bluetooth. Název Bluetooth je převzat z historie od krále Haralda Modrozuba. Král Modrozub využil své moci a usmířil dva kmeny, které spolu vedly válku. Ekvivalence k dnešní technologii je ve sjednocení standardů, které formuje 802.15.1. Bluetooth se využívá rovněž mezi mobilními telefony,

notebooky, tablety a dalšími zařízeními. V porovnání s WiFi jde především o komunikaci bod s bodem. Přenášejí se data na krátkou vzdálenost, řádově jednotky metrů. Přenosová rychlost se pohybuje okolo 3 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz. Poslední verze Bluetooth je 4.0.

Posledním standardem je 802.15.4. Tento standard nese označení ZigBee. Jedná se poměrně o nový standard, platný od roku 2004. ZigBee využívá pásmo 2,4 GHz, 868 MHz a 902 – 928 Hz. Přenosová rychlost může být až 250 kbit/s. Tento standard patří do kategorie PAN (Personal Area Network) a je určen především pro průmyslové využití. Mezi výrobce automatizace, kteří tento standard používají, patří Siemens, Honeywell, Motorola, ABB a další. ZigBee se používá především v průmyslové automatizaci, zdravotnictví a automatizaci budov.

7.1.7 IEEE 1451.6

Přístup ke sběrnici CAN definuje standard IEEE 1451.6. Tento standard je velmi důležitý, protože Smart senzory mají v automobilovém průmyslu jedno z hlavních využití. Ve standardu jsou definované jednotlivé komponenty senzoru, aby byla zabezpečená plná kompatibilita se sběrnici CAN.

7.1.8 IEEE 1451.7

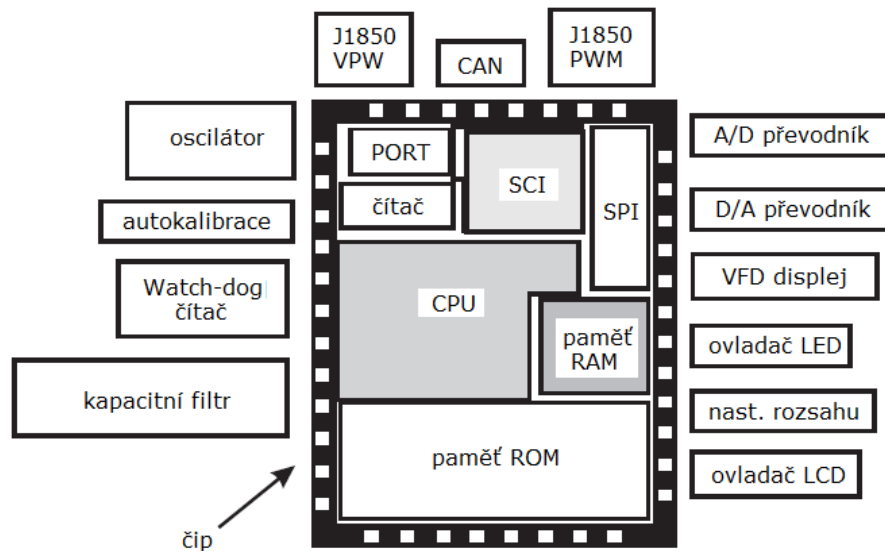
Posledním standardem je IEEE 1451.7. Tento standard definuje komunikaci mezi inteligentními senzory a RFID (Radio Frequency IDentification) systémy. RFID systémy slouží pro rozpoznávání a monitorování předmětů. Systémy RFID se snaží nahradit identifikaci pomocí čárových kódů. K identifikaci se používají značky tzv. tagy. Tyto tagy se dělí na pasivní a aktivní. Pasivní tagy využívají vyslanou energii od RFID systému pro nabití svého kondenzátoru a následně vyšlou uloženou informaci. Aktivní tagy obsahují vlastní zdroj, což je výhodné v tom, že mohou vysílat neustále. Mezi hlavní výhody oproti čárovému kódu patří:

- Tagy lze snímat v prašném a vlhkém prostředí
- Nezáleží na orientaci objektu
- Poškození tagu je výrazně složitější

Na druhou stranu, čárový kód má řadu výhod, ke kterým se RFID technologii jen stěží přiblíží. Největší výhodou je cena a možnost vytisknout si čárový kód a hned ho použít. V některých odvětvích průmyslu jsou tyto výhody na prvním místě. Jedná se především o označení zboží určené pro běžného spotřebitele.

7.2 Specializace Smart senzorů

Trendem, kterým se Smart senzory budou v budoucnu ubírat, je vytváření modulárních MCU. Cílem tohoto trendu je vytvořit co nejmenší výrobek za nejnižší cenu. Cena a rozměry jsou hlavní požadavky na inteligentní senzory, hned vedle výkonu, přesnosti a dalších požadavků. MCU navržené na zakázku se nazývá CSIC (Customer Specified Integrated Circuit). Výhodou návrhu CSIC je snížení ceny a zkrácení cyklu procesoru oproti klasickému návrhu se všemi jednotkami. Na Obr. 33 je zobrazen základ senzoru a jednotky, o které je ho možné rozšířit.



Obr. 33 Modulární MCU [1]

Mezi základní jednotky patří, CPU (Central Processing Unit), paměť RAM (Random Access Memory), paměť ROM (Read Only Memory), sériové komunikační rozhraní SCI (Seriál Communications Interface), sériové periferní rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface), čítač, vstupní a výstupní porty.

Podle budoucího využití zařízení je možné na čip přidat analogově digitální převodník, digitálně analogový převodník, jednotku autokalibrace, kapacitní filtr, čítač pro Watch-dog, rozhraní pro komunikaci se sběrnici CAN, jednotky pro komunikaci se standardem J1850, jednotku pro automatické nastavení měřicího rozsahu, oscilátor a další jednotky pro zobrazování pomocí LED diod, LCD (Liquid Crystal Display) displejů.

Výčet jednotek, pomocí kterých je modulární MCU možné sestavit, není konečný. Každá firma nabízí základní MCU, která jsou téměř totožná, a k nim poskytuje další jednotky. Některé firmy vyvíjejí svoje speciální jednotky, na které se vztahuje patent.

8 Závěr

Výsledkem práce je rozbor sensoriky, Smart sensorů a návrh programu pro komunikaci s inteligentním senzorem. V úvodu práce jsou vysvětleny základní pojmy týkající se sensorů a jejich parametrů. Dále jsou v práci přiblíženy technologie, které se používají na výrobu sensorů, a principy komunikace inteligentních sensorů. Hlavním cílem práce bylo vytvořit program, který zabezpečí komunikaci mezi inteligentním senzorem a počítačem. Pro vytvoření programu bylo použito prostředí LabVIEW od firmy National Instruments. Programy byly vytvořeny ve studentské verzi LabVIEW, kde bohužel nejsou všechny nástroje k dispozici. Potřebné nástroje, které nebyly k dispozici, se zabývají konverzí mezi čísly a řetězci. Pro ověření funkčnosti programu byly vyrobeny dva modely, které se svým blokovým schématem blíží inteligentním sensorům. První model je složen z mikroprocesoru, TTL – RS232 převodníku a termistoru. Druhý model se skládá z přípravku Arduino UNO, displeje a termistoru. Výhodou přípravku Arduino je to, že výrobce zdarma poskytuje nástroje pro prostředí LabVIEW.

Uplatnění Smart senzoru v průmyslu je široké. Inteligentní senzory je možné najít u robotů, manipulátorů nebo i u běžného technologického procesu. Mezi jejich hlavní výhody patří zkrácení měřicího řetězce a poskytnutí většího množství informací. Informace, se kterými Smart senzor pracuje, se netýkají jenom měřené veličiny, ale také diagnostiky senzoru.

Díky použití technologie MEMS získávají Smart senzory čím dál tím větší uplatnění. Použití miniaturních mechanických součástí spolu s elektronickými umožnilo vyvinout akcelerometry a gyroskopy pro všední použití. Tyto senzory si našly využití v automobilovém průmyslu, spotřební elektronice, ale hlavně automatizaci. Směr vývoje inteligentních sensorů určuje standard IEEE 1451. Podle tohoto standardu jednotlivé firmy vyvíjejí senzory a stále je zdokonalují.

9 Seznam literatury

- [1] FRANK, Randy. Understanding Smart Sensors. 2. vyd. Norwood: ARTECH HOUSE, INC, 2000. 389 s. ISBN 1-58053-398-1.
- [2] HÄBERLE, Heinz. Průmyslová elektrotechnika a informační technologie. 8 vyd. Praha: EUROPA – SOBOTÁLES cz., 2003. 720 s. ISBN 80-86706-04-4.
- [3] BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika III. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000. 254 s. ISBN 80-7226-248-3.
- [4] VLACH, Jaroslav. Začínáme s LabVIEW. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 243 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [5] RIPKA, Pavel. Senzory a převodníky. 2. vyd. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011. 136 s. ISBN 978-80-01-04696-8.
- [6] PLATIL, Antonín. Senzory a převodníky: Laboratorní cvičení. 1 vyd. Praha: Česka technika – nakladatelství ČVUT, 2006. 170 s. ISBN 80-01-02873-9.
- [7] MATOUŠEK, David. Práce s mikroprocesory ATMEL AVR ATmega 16. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 319 s. ISBN 80-7300-174-8.
- [8] MEMSnet. What is MEMS [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: http://www.memsnet.org/mems/what_is.html
- [9] MEMSuniverse. MEMS [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://www.memsuniverse.com/category/mems>
- [10] Wikipedia. CMOS [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/CMOS>
- [11] Wikipedia. VLSI [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/VLSI>
- [12] Wikipedia. Harvey C. Nathanson [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Harvey_C._Nathanson
- [13] HARTcomm. HART communication foundation [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://www.hartcomm.org/index.html>
- [14] USConverters.com. RS232 Pinout [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: http://www.usconverters.com/index.php?main_page=page&id=61&chapter=0
- [15] HW.cz. HW server představuje – Sériová linka RS-232 [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html>
- [16] Wikipedia. RS-485 [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>

- [17] Wikipedia. CANopen [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/CANopen>
- [18] Interfacebus. J1850.bus [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: http://www.interfacebus.com/Automotive_SAE_J1850_Bus.html
- [19] Shieldedpair. In-Vehicle Networking [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <http://www.shieldedpair.net/BAE5030/Lectures/J1850%20Introduction.pdf>
- [20] Arduino. LiquidCrystal [online]. [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>
- [21] Wikipedia. A Study of IEEE 1451 Smart Transducer Interface [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <https://wiki.aalto.fi/download/attachments/59704179/tamrakar-1451-smart-transducer-interface.pdf?version=1&modificationDate=1324369237000>
- [22] Futek. IEEE 1451.4 Standard and practice [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: http://www.futek.com/files/pdf/quality/ieee_1451_white_paper.pdf
- [23] Wikipedia. RFID [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RFID>
- [24] Wikipedia. Bluetooth [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [25] Wikipedia. Wi-Fi [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wifi>
- [26] HUSÁK, Miroslav. Akcelerometry [online]. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>
- [27] Wikipedia. Piezoelectric Accelerometer [online]. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectric_accelerometer
- [28] Lappierre. Chapter 5: GPS, DGPS, and Backup Systems [online]. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://lappierre.jammys.net/masters/chapter5.html>
- [29] Automatizace.hw.cz. Integrované MEMS Gyroskopy [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>
- [30] Analog.com. Datasheet ADXRS450 [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXRS450.pdf
- [31] Senzory. Optický vláknový gyroskop [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://senzory.aspone.cz/ovg.htm>
- [32] HUSÁK, Miroslav. 2. Parametry senzorů [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/02a_Parametry_senzoru.pdf

- [33] FRADEN, Jacob. Handbook of Modern ps. 2. vyd. Woodbury: AIP Press, 1996. 556 s. ISBN 1-56396-538-0.
- [34] WILSON, Jon S. Sensor Technology Handbook. 1. vyd. Burlington: Newnes, 2005. 691 s. ISBN 0-7506-7729-5.
- [35] Arduino. Arduino UNO [online]. [cit. 2013-23-02]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [36] Wikipedia. Gyroscope [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>

10 Seznam použitých obrázků, tabulek a rovnic

Seznam obrázků:

- Obr. 1 Měřicí řetězec senzoru [5]
- Obr. 2 Převodní charakteristika senzoru [32]
- Obr. 3 Linearita, hystereze a reprodukovatelnost senzoru [32]
- Obr. 4 Zapojení kompenzačního snímače [3]
- Obr. 5 Zapojení diferenční snímač [3]
- Obr. 6 Zapojení zpětnovazební kompenzace [3]
- Obr. 7 Blokové schéma Smart senzoru [1]
- Obr. 8 Referenční model OSI
- Obr. 9 Konektor D-Sub [14]
- Obr. 10 Přenášený byte ve standardu RS-232C [15]
- Obr. 11 Přenos zprávy ve standardu RS-485 [16]
- Obr. 12 ASI sběrnice [2]
- Obr. 13 Princip přenosu pomocí rozhraní HART [13]
- Obr. 14 Princip toku dat ve standardu CAN [2]
- Obr. 15 Datový rámec J-1850 [18]
- Obr. 16 Reprezentace logických úrovní pomocí fyzické vrstvy VPW a PWM [19]
- Obr. 17 Piezoelektrický akcelerometr [27]
- Obr. 18 Kapacitní akcelerometr [28]
- Obr. 19 Gyroskop [36]
- Obr. 20 Vnitřní struktura MEMS gyroskopu ADXRS450 [30]
- Obr. 21 Zapojení Smart senzoru s mikroprocesorem Atmel
- Obr. 22 Vyrobený Smart senzor
- Obr. 23 PCB návrh Smart senzoru
- Obr. 24 Front panel pro komunikaci se Smart senzorem
- Obr. 25 Program v LabVIEW pro Smart senzor
- Obr. 26 Blokové schéma Smart senzoru s využitím Arduina UNO
- Obr. 27 Program pro komunikaci s programem LabVIEW
- Obr. 28 Schéma zapojení displeje k přípravku Arduino [20]
- Obr. 29 Front panel pro přípravek Arduino
- Obr. 30 Block diagram pro přípravek Arduino
- Obr. 31 Smart senzor s přípravkem Arduino

Obr. 32 Objektový a komunikační model

Obr. 33 Modulární MCU [1]

Seznam tabulek:

Tab. 1 Používané protokoly u Smart senzorů [1]

Tab. 2 Použité součástky u varianty modelu senzoru s mikroprocesorem

Tab. 3 Základní parametry přípravku Arduino [35]

Tab. 4 Základní informace formátu TEDS [22]

Tab. 5 TEDS IEEE 1451.4

Seznam rovnic:

[3.1] Přesnost senzoru

[3.2] Rozlišovací schopnost

[3.3] Citlivost senzoru

[3.4] Selektivita senzoru

[5.1] II. Newtonův zákon

11 Seznam zkratek

Použité zkratky:

EMC – Electromagnetic Compatibility Society

USART – Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter

RX – Receive data

TX – Transmit data

GND - Ground

LED – Light Emitting Diode

MEMS – Micro Electro Mechanical Systems

CMOS – Complementary Metal Oxid Semiconductor

VLSI – Very Large Scale Integration

MOSFET – Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor

TTL – Transistor Transistor Logic

SSC – Small Scale Integration

MSC – Medium Scale Integration

CAN – Controller Area Network

USB – Universal Serial Bus

ASI – Actuator Sensor Interface

PLC – Programmable Logic Controller

HART – Highway Addressable Remote Transducer

PID – Proporcionalně Integračně Derivační (regulátor)

DDL – Device Description Language

EOBD – European On Board Diagnostics

OBD – On Board Diagnostics

OSI – Open System Interconnection

NMT – Network Management

SDO – Service Data Object

PDO – Process Data Object

SYNC – Synchronization Object

TIME – Time Stamp Object

EMCY – Emergency Object

PTP – Peer To Peer

Profibus – Process Field Bus

FMS – Fieldbus Message Specification
DP – Decentral Periferie
PA – Process Automation
PMW – Pulse Width Modulated
VPW – Variable Pulse Width
SOF – Start Of Frame
CRC – Cyclical Redundancy Check
EOD – End Of Data
IFR – In Frame Response
LIGA – Lithographie Galvanoformung Abformung
SLIGA – Sacrificial Lithographie Galvanoformung Abformung
MCU – Micro Control Unit
RISC – Reduced Instruction Set Computing
EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
SRAM – Static Random Access Memory
CAD – Computer Aided Design
PCB – Printed Circuit Board
MyDAQ – My Data Acquisition
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
TEDS – Transducer Electronic Data Sheets
NCAP – Network Capable Application Processor
TIM – Transducer Independent Module
TII – Transducer Independent Interface
TDL – Template Description Language
STIM – Smart Transducer Interface Model
WiFi – Wireless Fidelity
WLAN – Wireless Local Area Network
WEP – Wired Equivalent Privacy
WPA – WiFi Protected Access
WPA 2. WiFi Protected Access 2
PAN – Personal Area Network
RFID – Radio Frequency IDentification
CSIC – Customer Specified Integrated Circuit
CPU – Central Processing Unit

RAM – Random Access Memory

ROM – Read Only Memory

SPI – Serial Peripheral Interface

LCD – Liquid Crystal Display

12 Přílohy

Příloha č. 1

Příloha se váže ke kapitole 6.2, jedná se o program nahraný v mikroprocesoru Smart senzoru.

```
#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <inttypes.h>
#include <avr/interrupt.h>
ISR(ADC_vect)
{
    PORTD = ADCH; // Nastavení pomocného výstupu
    ADCSRA |= 1<<ADSC; // Začátek převodu
}

void USARTInit(uint16_t ubrr_value)
{
    UBRRH = ubrr_value; // Nastavení rychlosti
    UBRRL = (ubrr_value>>8); // Podmínka přenosu
    UCSRC=(1<<URSEL)|(3<<UCSZ0); // Nastavení přenosu, asynchronní komunikace
    // Žádná parita, 1 stop bit
    UCSRB=(1<<RXEN)|(1<<TXEN); // Povolení vysílání
}

char USARTReadChar() // Načtení dat
{
    while(!(UCSRA & (1<<RXC))) // Vlastní načítání dat
    {
        // Prázdné tělo funkce
    }

    return UDR; // Vrácení hodnoty registru UDR
}

void USARTWriteChar(char data) // Posílání dat
{
    while(!(UCSRA & (1<<UDRE))) // Zápis dat
    {
        //Prázdné tělo funkce
    }

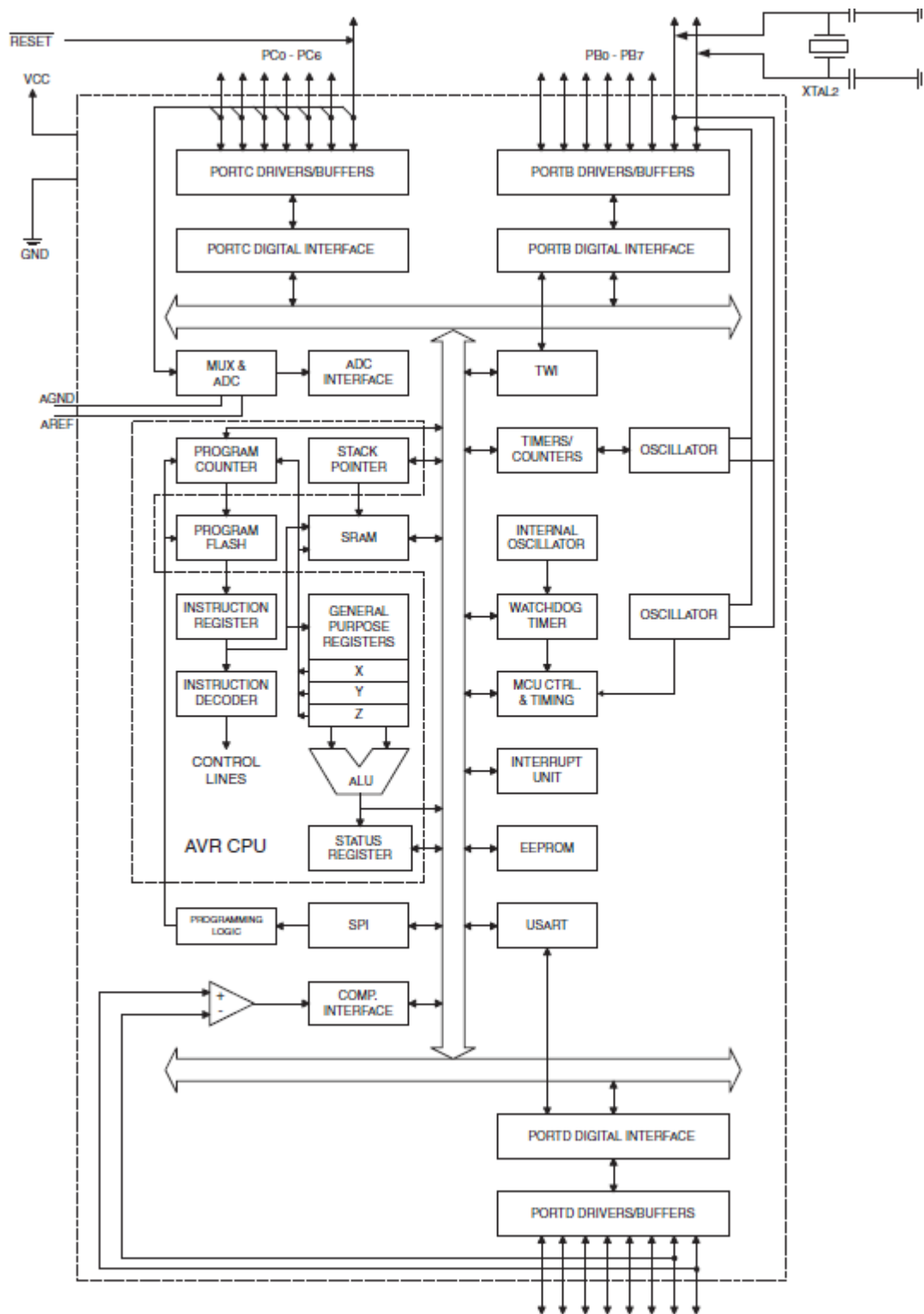
    UDR=data; // Přiřazení hodnoty registru UDR
}

void main() // Hlavní program
{
    char data;
    USARTInit(51); //Nastavení rychlosti
    while(1)
    {
        DDRC = 0xFF; // Pomocný port D
        DDRC = 0x00; // Pomocný port C
        ADCSRA = 0x8F; // Povolení přerušování od AD převodníku
        ADMUX = 0xE0; // Nastavení kanálu AD převodníku
        sei(); // Globální přerušování
        ADCSRA |= 1<<ADSC; // Začátek konverze
        data=USARTReadChar(); // Čtení dat

        USARTWriteChar(ADCL); // Zápis dat
        USARTWriteChar('-');
        USARTWriteChar(ADCH);
    }
}
```

Příloha č. 2

Druhá příloha znázorňuje blokové schéma mikroprocesoru Atmel ATmega8.



Příloha č. 3

Třetí příloha znázorňuje schéma zapojení Smart senzoru s mikroprocesorem Atmel.

